

25X1

**Page Denied**

Next 2 Page(s) In Document Denied

**Institute of Scientific Information of the Academy of Sciences of the USSR**

**V. P. CHERENIN and B. M. RAKOV**

**EXPERIMENTAL INFORMATION MACHINE  
of the  
INSTITUTE OF SCIENTIFIC INFORMATION  
of the  
USSR ACADEMY OF SCIENCES**

**MOSCOW, 1955**

Institute of Scientific Information of the Academy of Sciences of the USSR

V. P. CHERENIN and B. M. RAKOV

EXPERIMENTAL INFORMATION MACHINE  
of the  
INSTITUTE OF SCIENTIFIC INFORMATION  
of the  
USSR ACADEMY OF SCIENCES

\*

MOSCOW, 1955

---

### INTRODUCTION

During the past two decades very many articles have appeared in the foreign press on the problem of the rapid searching of information. The first group of articles of this kind, quite considerable in number, were mainly figurative and popular expositions of the difficulties which led to this problem\*. The doubling of the contents of libraries every 15 to 20 years, the ever increasing expenditures on the search for previously obtained data prior to any scientific research and many other facts aroused the apprehension that unless the methods of literature searching were radically improved, mankind would soon be flooded by the ever growing inflow of information. The suggestions put forth to meet this problem included mechanization of literature searching and the development of a suitable system of handling and recording the substance of the information and the question data.

The second group of articles published on this subject contained descriptions of such improved searching methods for individual limited branches of information. These included mainly punched cards with notched edges sorted manually by means of needles; superimposed punched cards, examined against the light; and punched cards, sorted on ordinary sorting machines\*\*. The index data used for literature searching were bibliographical characteristics (year, country, author, etc) and subject headings taken from preliminary compiled lists. For each particular case the articles would give these lists (at least partially), and would describe the method of encoding the characteristics and distributing them among the fields of the card (the card model).

These methods were found satisfactory for some individual limited branches of information and for individual use, but they could not be applied when it came to broader branches, due to

\* Among Soviet authors, see Л. И. Гутенмахер. «К вопросу о машинной технике научной информации». Вестник Академии наук, № 8, 1952 год.

\*\* For further information of the use of punch cards and bibliography, see R. S. Casey and J. W. Perry, «Punched cards», New York, 1951.



insufficient mechanization and, mainly, to insufficient standardization of characteristics and the difficulty of revealing the diversified relations between them. Thus, the general problem of literature searching fell into the problem of the *mechanization of searching* — the engineering of information machines and the problem of the *development of a special information (machine) language*, which would reflect all the relations between information characteristics, and the translation of information and question data into that language, i. e. *indexing*.

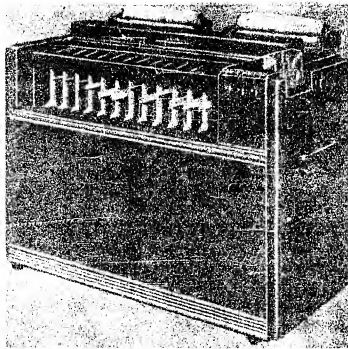


Fig. 1

If the development of an information machine for ordinary language is not practicable in the near future, this should not be very difficult for any not too complicated information language, especially in view of the achievements attained in the design of modern computing machines. It is natural, therefore, that nearly all the rest of the articles, not included in the first two groups, were devoted to the solution of this problem. There appeared descriptions of and brief information on the use of improved punched card sorting machines (the IBM Co. electronic statistical machine (fig. 1), J. Samain's first selector (fig. 2), etc.) and of specialized selecting machines (J. Samain's second Filmorex selector (fig. 3), the V. Buch microfilm selector (fig. 4), H. P. Luhn's machine). There were also indications as to the possibility of employing modern computers (UNIVAC, etc.) for

literature searching purposes. Projects have been suggested of still more complicated and perfect information machines, capable of handling millions of information elements in a very short time. Just recently there appeared a communication \* concerning a new very flexible system of information storage and searching developed by the Kodak Co., in which the information is recorded on 16x32 mm minicards.

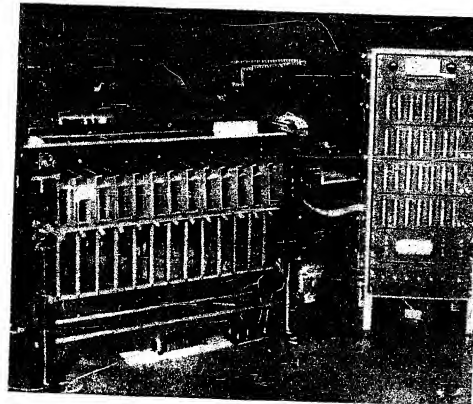


Fig. 2

It was much worse with the solution of the complicated problems, the development of a special information language and indexing. Only a small number of articles by M. Taube, J. W. Perry *et al.* were devoted to this problem. At the same time, the lag in the solution of these problems obstructed the effective mechanization of literature searching in the broad branches, even though highly efficient information machines already existed. All this somewhat sobered the over-optimistic adherents of such searches, who saw the solution of the entire problem almost exclusively in the development of a sufficiently efficient information machine,

\* A. W. Tyler, W. L. Myers, J. W. Kuipers. «The Application of the Kodak Minicard System to Problems of Documentation». American Documentation, vol. VI, No. 1, 1955.

and made them look more attentively into the formulation of the problem\*.

A careful examination of the problem leads to the following conclusions:

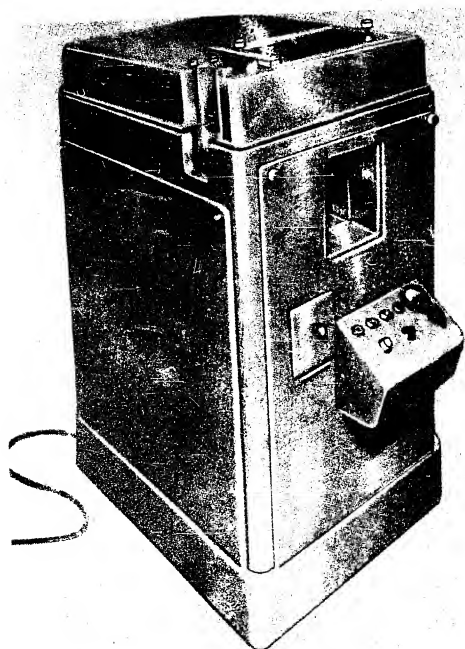


Fig. 3

\* See series of articles by J. W. Perry et al. «Machine Literature Searching» in American Documentation for 1954 and 1955, and also: В. П. Чернин. «Некоторые проблемы документации и механизация информационных поисков», Москва, 1955 г.

1. The development of a special information language is the key problem among the three problems of literature searching in wide branches of information. Especially in changing over to machine searching the erudition of the searcher must be replaced by a reflection of the connection between the characteristics (the

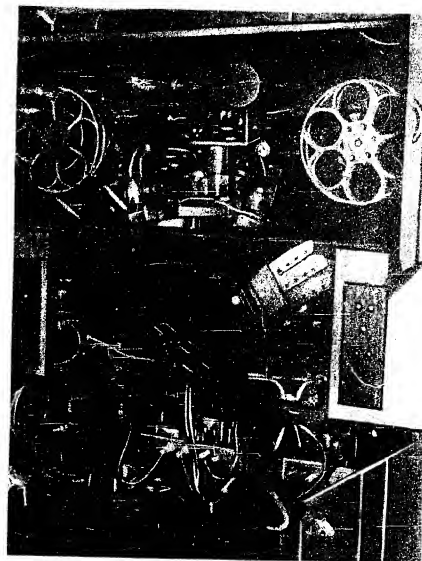


Fig. 4

words of the language) within the language. Standardizing the characteristics and finding the relations between them is a very complicated job, closely connected with the work on terminology and classification, which can be carried out only by a large body of specialists. A uniform international information language would obviously be the most valuable in this connection.

2. Certain particular branches of information, which have a more or less ready-made information language, can do quite well with relatively simple and inexpensive devices, such as notched punch cards, superimposed punch cards, improved sorters. Filmorex selectors, etc. More complicated and expensive machines should be built only for special information problems (with a known language), requiring high operativeness and searching speeds.

3. The machine to be used in developing an information language for wide branches of information and in the experimental work done in this connection must be sufficiently flexible and capable of passing easily and quickly from one language or code to another. Obviously, this machine need not be highly perfect, particularly as regards capacity and finished design.

The experimental information machine described below (EIM) was designed in the Institute of Scientific Information of the USSR Academy of Sciences precisely for experimental work in the development of an information language. Built on the basis of a conventional sorter with the least possible expenditures on reconstruction the machine, as will be demonstrated below, is capable of working with almost any language and code and is sufficiently flexible to carry out all kinds of experimental searches. Besides, after the test work has resulted in the development of a language and code for separate particular problems, the EIM can be modified without difficulty specially to solve these tasks and used for regular work in various establishments and enterprises, especially those already equipped with punch card machines.

#### 1. Information Elements, Index Data, Conditions of Selection, Consecutive Action Machines \*

Aggregates of information sought will be termed *information elements*. The data in an information element are more or less closely related. Thus, for instance, one may assume that an information element is the aggregate of information contained in a certain article or abstract, or concerning a certain experiment, process, substance, plant, animal or person. Thus, the information element concept is a very conventional one, varying from case to case.

The index data or characteristic information of an information element to be used in searching fall into *«bibliographical»* and *«subject»* data. The former include all the data on the time, place, author and other conditions connected with the origin of the information element. The latter describe the subject matter. As a rule, each item of characteristic information is an independent unit (conception) and may serve as question data, i. e. any one of them may become the basis for a search. In the simplest case the data contained in an information element can be described by merely naming the information characteristics without indicating any logical or grammatical relations between them within the information element. While this is quite natural for bibliographical characteristics, in the case of subject data, such a method often results in the construction of a rather complicated system of subject headings, which makes it difficult to standardize these headings and reveal the classification relations between them. Hence, part of the subject characteristics within the information element must be provided with the simplest types of grammatical relations: grouping of characteristics, similarly to the division of an ordinary article into sections, paragraphs and sentences; introduction of subordination of characteristics within groups, in analogy with the usual relations between the parts of

\* For further information on the questions dealt with in the first four paragraphs, see the article by V. P. Cherenin cited on p.6.

a sentence, etc. The development of such a grammar is part of the work on the engineering of a special information language, and cannot be separated from the standardization of index data (the words of the language) and the ascertainment of the classification relations between them. Inclusion of grammatical relations does not require any considerable changes in the design of the machine dealt with in this article, and therefore, for the sake of simplicity we shall assume that the information elements can be defined by merely naming the aggregates of characteristics.

Question data are also represented either simply as aggregates of characteristics, or in the form of characteristics in some sort of grammatical relation with one another. For simplicity we shall assume that in this case also there are no grammatical specifications between the question characteristics. Then the basic condition for the selection of the necessary information element is that the question characteristics be included in the information element. However, a full inclusion of these characteristics may not always be required, and information elements may be sought which at least approximately correspond to the specified question. In this case the selection specification may be the presence in the information element of any  $m$  characteristics of the total number  $n$  contained in the question. More complicated selection conditions are also possible; for instance, one may require the selection of the information elements which contain among their characteristics A and B, or C, positively contain D, but should not contain E.

Thus, no matter what the selection specifications, the machine must compare the characteristics of the information element with those of the question specified. If the characteristics of the question are matched with the characteristics of many information elements at the same time the machine is a parallel action type; if the characteristics are matched consecutively with separate information elements, one by one, the machine is a consecutive action type. The consecutive action machine is capable of fuller comparisons, not only of the characteristics themselves, but of the grammatical relationships between them as well. Although the search rate of these machines is lower than that of the parallel action types, they require a minimum of equipment to effect the matching, since only one information element is compared with the question each time. The EIM machine is of the consecutive action type, and hence, parallel-action machines will not be discussed in this article.

Any consecutive action machine must contain:

a) a carrying or switching device to match the information elements one by one with the question characteristics;

b) a device for scanning the characteristics of the information element;

c) a storage unit to hold the characteristics of the question;

d) a device comparing question characteristics with those of the information element;

e) a selecting device, consisting of elements registering the results of matching and the fulfillment of the selection conditions, and of an executive organ which separates the information elements required from those not required.

In order that the machine should perform these operations it is necessary to render the characteristics both of the information element and the question in coded form to make them available for machine scanning. The coded index data of the information element are introduced into the machine on a so-called medium (film, magnetic tape, paper tape, punch cards, etc.), while the coded data of the question are kept in the storage device. Next to the symbol for the index data of the information element may be not only the name (number) of that information element, but also a full description of the data contained in the element in legible form (written by hand, typed or printed, in the form of a microfilm image, etc.). The sections of the medium corresponding to the required information elements are either separated out directly by means of the executive organ, as is the case with the punch cards in the EIM machine, or are photographed, or their content is re-recorded.

## 2. Coding

The codes discussed below may be applied in devices of any kind; however, having in mind the EIM, we shall deal specially with the possibility of representing index data as groups of holes punched in an ordinary 80 column card (fig. 5).

Each item of index data is represented singularly on the punched card and in the storage device, firstly by the configuration of the code symbols within the so-called field, and, secondly, by the location of this field. The assumed code symbols on the punch card are the holes, while in the storage unit they are the closed contacts of a plugboard or keyboard. We shall term these symbols secondary code symbols, forming a secondary coded designation of an item of index data in each field, in contradistinction to the primary code symbols and designations found in the vocabulary of the information language.

The primary code designations are indices and are, strictly speaking, the words of the information language. They represent regular sequences of primary code symbols, i. e. letters, digits, syllables, etc. written in one line. We shall term the spot occupied by the *r-th* primary symbol in the index, counting from left to right, the *r-th* rank. Let us assume that the total number of primary symbols which can occupy the *r-th* rank, increased by unity, if the absence of a symbol is not to be designated, is  $q_r$ . In particular, the indices may be words of an ordinary language in a definite grammatical form (for instance, in the Nominative case, Singular, etc.). Thus, the indices are intermediate forms between the usual denotation of characteristics and their secondary coded designations; having the clearness and legibility of the former, they at the same time quite reflect the latter, i. e. are in a way instructions used by the operator in entering the secondary code designations on the punch card and in the storage unit. Thus, for instance, if the punch card field consisting of one bit at the intersection of column 6 and line 9 is assigned to the item «automobile» according to a direct code (see below), the index may be «D, 6, 9». If the item is encoded according to

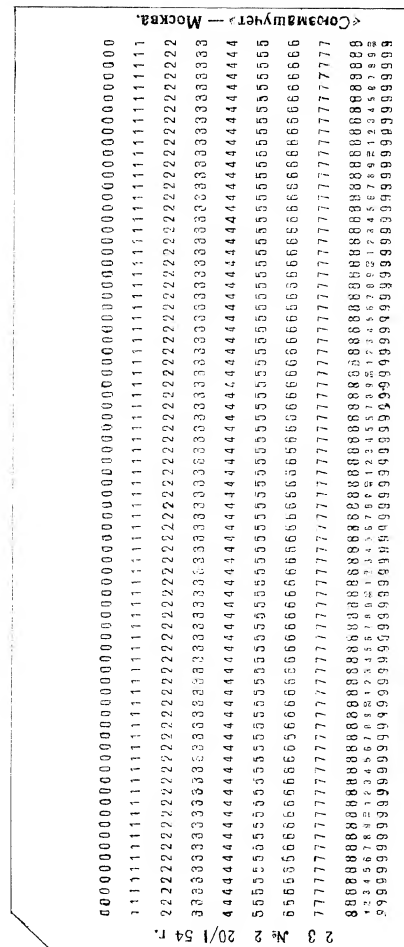


Fig. 5

a non-local alphabetic code (see also below), providing for entry of a 7-letter expression in each field, the index might be, for instance, «automob», etc.

Returning to the secondary code designations, let us see, first of all, how codes may be subdivided according to field location. Evidently, the following 4 cases are possible: the coded items differ only in the *configuration of the code symbols*, entered in a single field, common to all characteristics (superpositional code) or in separate fields for each characteristic, independent of the location of the latter (non-local code); the coded items differ only in the *location of the fields assigned to them* (direct code), only two configurations of symbols being possible in each field, to denote the presence or absence of the characteristic; and finally, the coded items may differ *both in field location and symbol configuration* (local code).

In the case of the *superpositional code*, when all the fields of the separate characteristics coincide, i. e. are superimposed, parasitic symbol configurations are apt to form, corresponding to characteristics which actually are not present in the information element. This leads to the selection of superfluous, unnecessary information elements when making searches, and hence, the use of this code is undesirable. In this case the characteristic question data are entered in the storage unit also by the superpositional code in a single common field. When matching (to see whether the question characteristics are or are not present among the index data of information elements) all those cards are selected which contain the specified plurality of holes among their holes.

When using a *direct code* each bit of the punch card (and each respective bit of the storage device) is made to correspond to a certain characteristic. The bit will be punched only on those cards which correspond to information elements containing the characteristic it represents. Since the total number of bits on the card is 960, the direct code may be used to record not more than 960 characteristics. It is advantageous when the information elements contain many characteristics out of a comparatively small aggregate total; otherwise the necessity of reserving place for the absent characteristics results in the punch card not being fully utilized. Obviously, in this case also, matching results in the selection of all the cards which contain the specified plurality of holes among their holes.

The direct code is a particular case of the *local code*. The latter is used when any characteristic may have not two values (present or absent), as is the case with the direct code, but many mutually exclusive values. For instance, the year or place of publication of an article are just such groups of mutually exclusive

characteristics. Mutual exclusiveness of the characteristics means that any information element may contain not more than one characteristic of each group. A separate field of the punch card is assigned to each group of mutually exclusive characteristics, the location of this field determining the group, and the symbol configuration — the characteristic itself or its absence. The local code is advantageous when the information elements as a rule contain characteristics from almost each group. Then almost no fields are left unoccupied on the punch card. The question data are also recorded according to the local code. When matching, those cards are now selected on which the plurality of holes in the fields corresponding to those containing the question characteristic in the storage unit coincide with the plurality specified.

The *non-local code* is, for the majority of problems, not only the most highly manipulative, but also the most compact, since, unlike the local and direct codes, in using this code only those characteristics are entered and take up space on the card, which have been assigned to the given information element. The fields assigned to the individual characteristic items may be arranged arbitrarily on the punch card, as long as they can be scanned consecutively in matching. The question data are also entered according to the non-local code in separate fields of the storage unit. Each pair of characteristics is matched, one from the field of the punch card and one from the field of the storage unit, to reveal coinciding symbol configurations. Depending on the selection specifications, when matching, information elements may be selected containing all the characteristics specified in the question data, or a certain predetermined number of them. The number of pairs to be matched obviously equals the product of the number of characteristics on the punch card by the number of characteristics in the storage unit.

All the codes described may also be used simultaneously; in this case the card and the storage unit are subdivided into superpositional, direct, local and non-local code zones. Mixed codes, consisting of the main codes mentioned above, are also possible. For instance, to combine characteristics into groups (page 9) a superpositional non-local code may be used, where several characteristic items are entered according to the superpositional code in each of the fields mapped out for characteristic groups according to a non-local code. A superpositional local code is also possible when the characteristics are not entirely exclusive, and a local-non-local code, when the characteristics, entered according to the non-local code are preliminarily grouped, each group having its own zone of the non-local code, etc. The EIM can operate with all these codes, with one limitation concerning the configuration of the symbols, which will be described below.

In encoding the characteristics within the fields (in the case of the superpositional, local and non-local codes) by means of various symbol configurations, the following two possibilities should be distinguished above all:

- a) all the configurations for a certain field consist of an equal number of symbols (*selector* code) and
- b) different configurations within any field may consist of different numbers of symbols (*ordinal* codes, particularly, binary codes).

Application of the selector code, as we shall see below, considerably simplifies the matching unit, and for this reason the EIM uses only the selector code. This is the limitation mentioned above.

Since the general relationships between characteristics may be reflected in recording indices, and taking into account the necessity of facilitating the operations of encoding and decoding, it is advisable to encode the indices rank by rank. For this purpose the field of the punch card and of the storage unit is divided up into sections, the number of which equals the maximum number of ranks the indices entered in that field may have. A mutually single valued correspondence is established between the sections and the ranks. Then each section is subdivided into bits, in each of which one secondary code symbol can be entered. The number of bits in the «r-th» section,  $g_r$ , depends on  $q_r$  (p. 12). In the case of a selector code, where any primary code symbol is expressed always by an equal number of secondary code symbols  $Y_r$  for its rank, the following condition must be fulfilled:

$$C_{g_r}^{Y_r} \geq q_r$$

In case of a binary code, where the primary code symbols may be expressed by different numbers of secondary code symbols, the corresponding condition is:

$$2^{g_r} \geq q_r$$

When a non-local code is used all the fields of the same zone consist of an equal number of bits and are divided identically into sections. The fields of a local code zone may consist of different numbers of bits and be divided differently into sections, small fields not being necessarily divided into sections at all. With the superpositional code there is only one field and a single division into sections.

### 3. Example of a Punch Card Model

In order to illustrate the various systems of coding we shall consider one imaginary example. Let us assume that the information elements are the medical records of the patients of some large medical institution, say, a tuberculosis or onkological institute. Then zone I (fig. 6) could be used to record, by means of a local code, all «bibliographical» characteristics: year, unit history number, the patient's name, age, sex, nationality, etc., as well as the symptoms and average anatomico-physiological examination data over the entire period of the disorder, which have many mutually exclusive values, such as blood pressure, pulse, blood and gastric juice analysis data, etc. Symptoms of the disorder which take only two values — presence or absence — such as general lassitude, high fatigability, absence of appetite, disposition to perspire, etc. are recorded using a direct code, in zone II. Zone III is set aside for the names of all the physicians attending the patient, entered by a superpositional code. Zone IV may be employed to record, by means of a non-local code, all the diagnoses (preliminary, clinical and pathologo-anatomical) and the prescriptions and treatment assigned (medicines, operations, etc.).

Any set of rules will do for entering characteristics in the fields, as long as the code is of the selector type. Thus, for instance, fields holding names could be divided into 7 sections each (according to the number of columns) and the corresponding letter of the name could be entered as two holes out of the twelve possible. The number of possible combinations would then equal  $C_{12}^2=66$ , which is quite enough for recording the 32 letters of the alphabet\* (which are identical primary code symbols for

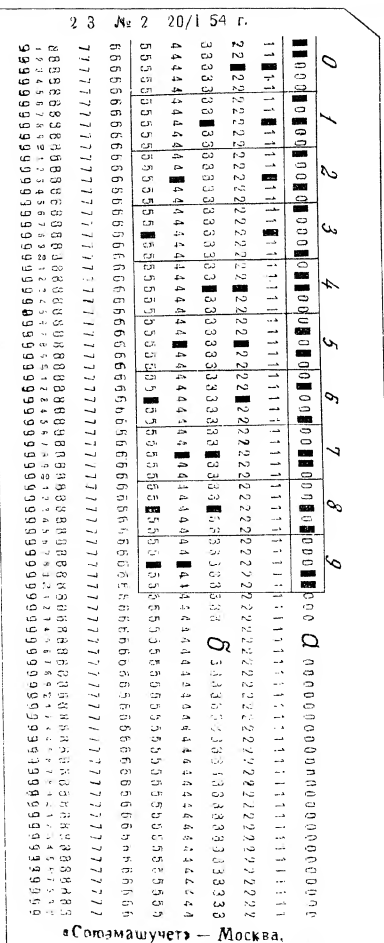
\* This refers to the Russian alphabet, which has 32 letters — Tr.





[illegible][illegible]

Fr. B. 7



६।५।५

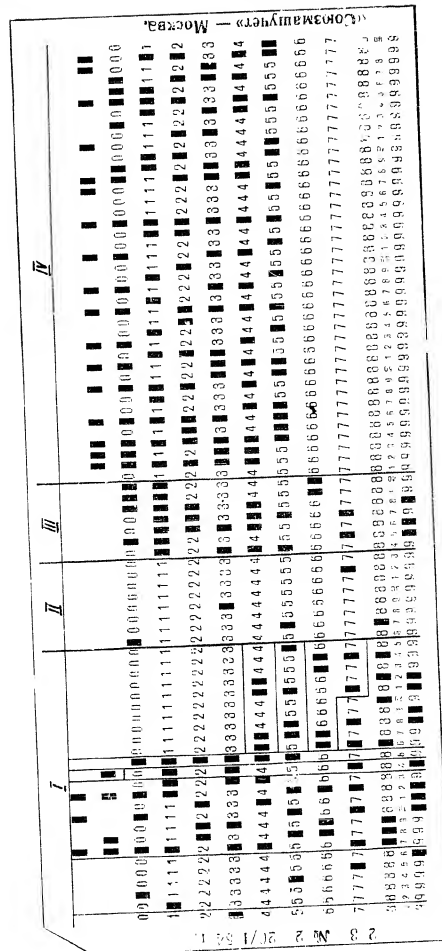


Fig. 10

Zone IV consists of 12 fields, arranged horizontally, line by line. This arrangement complies with the above mentioned necessity of scanning the fields consecutively when matching. The fields are broken up into sections (identically this time for all the fields) depending on the non-local code characteristic indices (for diagnoses, operations, medicines, etc.). If the indices in the vocabulary of these characteristics are eight-digit numbers, each field may be subdivided into 8 sections of 5 bits each ( $g_r = 5$ ;  $\gamma_r = 2$ ;  $C^2_5 = 10 = q_r$ ). If they are made up of letters, then, adding two columns to the zone, each field is subdivided into 6 sections of 7 bits each ( $g_r = 7$ ;  $\gamma_r = 3$ ;  $C^3_7 = 35 > q_r = 33$ ). The subdivisions may be more complicated: for instance, the first section may consist of 8 bits, making it possible to record any of 70 primary code symbols which may appear in the first rank of the index ( $g_1 = 8$ ;  $\gamma_1 = 4$ ;  $C^4_8 = 70 = q_1$ ); the second section may have 7 bits for recording any letter of the alphabet, and the remaining 5 sections may be left for recording figures. Finally, a less convenient, but the most economical code may be used, by which, without breaking the fields up into sections, any of  $C^{20}_{40}$  indices may be entered by punching 20 holes.

Zone I			
Field	Index data	Index	Code
Year	1953	3	$C^1_{10}$
Unit history number	10579	10579	.
Name and initials	К. Г. Корнифская	К. Г. Корнифская	$C^3_7$ (fig. 8)
Sex	female	11	$C^1_2$
Age	58	58	$C^2_5$ (fig 9b)
Nationality	Russian	0, 1, 2, 3, 4, 5	$C^6_{12}$
Blood pressure:			
a) upper	135	135	$C^2_5$ (fig. 9a)
b) lower	70	70	.
Pulse	72	072	.
Erythrocyte sedimentation test	43	43	.
Free HCl in gastric juice	0	00	.
etc.			

Zone II	
Index data	Index
Pain	26; 0
Loss of weight	27; 5
Absence of appetite	27; 8
General lassitude	29; 3
Filling deficiency in stomach when X-rayed	32; 7
etc.	

Zone III		
Index data	Index	Code
Костина	Костина	$C^{12}_{12}$ (fig. 7)
Матуленко	Матулен	
Широченко	Широчен	
etc.		

Zone IV		
Index data	Index	Code
Achyllic gastritis	LЖ 12437	$C^4_8$ ; $C^3_7$ (fig. 8);
Cancer of the stomach	LЖ 12780	$C^2_5$ (fig. 9a)
Secondary anemia	QK 57992	
Fibrous pulmonary tuberculosis	RЛ 37865	
Metastasis in the liver	ЛП 12754	
Sub-total resection of the stomach	LЖ 12795	
Symptomatic therapy (morphine)	WC 25639	
etc.		

Fig. 10 shows the punch card for a certain concrete (again imaginary) medical record. In order to make clearer the use of the codes described above, let us see how some of the index data of this medical record are encoded.

The indices of the characteristics, together with the headings of the fields (in the case of zone I) and the selected codes, as has been mentioned above, fully reflect the positions of the holes punched on the card. This can readily be seen if the indices in the above tables are compared with the holes punched in the card shown in fig. 10. There are, however, a few details which should be explained.

Note, first, that in the model the section sequences of the fields of the card, corresponding to the first, second, third, etc. ranks of the index may be arranged either from top to bottom (K. I. Коринфская, age 58), or from left to right (No. 10579, Er. sed. test, 43, Костина, ЛЖ 12437, etc.), or in both ways alternately (pulse 072, upper blood pressure 135). Obviously, any type of correspondence between ranks and sections may be accepted, as long as it is convenient for the operator and for decoding (reading).

The indices 11 (sex) and 0, 1, 2, 3, 4, 5 (nationality) of zone I denote the position numbers in the respective fields in which the holes are to be punched. Similarly, for zone II the first number in the index denotes the column number, and the second — the line number.

In entering characteristics according to the superpositional code in zone III we come across the above mentioned superpositioning of symbols. Thus, for instance, the holes in this zone make up the name «Локхна» and a number of others. However, this is no predicament in our case, since the probability of physicians with such names working at the institution under consideration is very low. Evidently, the greater the number of characteristics recorded in zone III, the greater will be the number of such superfluous, unnecessary names. Thus, the usually small number of physicians attending each patient is also a favourable factor. These questions can be studied in greater detail by applying the probability theory.

The indices of zone IV are recorded, as is known, in separate lines of the punch card in arbitrary order (on the card under review they are recorded in the same order as the characteristic information in the text). It is assumed that the characteristic information to be entered in this zone has been systematized and is listed together with the corresponding symbols in a special vocabulary. In our example the first rank of the index may be any one of 70 different arbitrary symbols ( $C'_8 = 70$ ), the second

may be any letter of the alphabet, and the rest of the ranks are numerical digits.

Searches of the medical records may be made on any questions or sets of characteristics, both for statistical (e. g. to find the number of Ukrainian women aged between 40 and 49 treated at the institute in 1951 for cancer of the esophagus), and for scientific purposes, for instance, to establish the relationships between symptom complexes and disorders, or to find similar medical records, etc. It would be useless in this article to elaborate on the expediency of the various questions that could be put, since the authors are not specialists in medicine, and have taken the above example, as has been mentioned before, not from practical experience, but just as an illustration\*. A similar remark should be made concerning the model described (fig. 6), in which a great variety of field arrangements and hole configurations (codes) have been employed purposely for the sake of illustration. The work of the punch operator would be greatly facilitated and accelerated if a smaller number of codes were used and the symptom fields in zone I arranged more conveniently (for instance, vertically instead of horizontally).

Thus, the final (work) model of the punch card may differ very greatly from the above. For other purposes the models may be entirely different — some of the zones may be missing, or several non-local code zones may be included, the subdivision of the zones into fields and the fields into sections may be different, etc. The main point we should like to emphasize, however, is that the EIM can work with any model at all, without entailing changes in design, since the operation of matching the index data on the punched card with the characteristics in the storage unit is the same, irrespective of the model.

\* An analogical application of punched cards (using a much simpler model) at an American hospital is described in an article by F. Bradley, C. O. Vermillion, W. Anderson, «Medical Records on Punch Cards». The Modern Hospital, vol. 82, Nos. 4, 5; 1954.

#### 4. Principles of Matching Index Data

Since the location of the fields of different characteristics recorded according to the superpositional, direct and local codes is known, these characteristics can be matched by merely establishing a single valued correspondence between the bits of the punched card and those of the storage unit, and matching the symbol configurations on the punch card with those in the storage unit. In this case all the fields can be matched simultaneously, the results for all the characteristics being registered in a single registering element. When a non-local code is used, the line of the punch card in which the field of any given characteristic may be located, is not known. Therefore, in this case each of the characteristics on the card must be matched consecutively with all the characteristics in the storage unit. The results of individual matchings made in the course of one run of the card are registered separately for each characteristic of the storage unit by means of its own registering element. Since each pair of matched fields have equal dimensions, a single valued correspondence is established between the bits of these fields also, and it is again the symbol configurations that are matched.

As has been mentioned above, with superpositional and direct codes the symbol configurations are matched for inclusion, i. e. it is established whether the plurality of holes in the card includes the given hole plurality corresponding to the plurality of code symbols in the storage unit. In the case of local and non-local codes they are matched for coincidence of pluralities on the fields matched. Matching for inclusion is much simpler with all devices than matching for coincidence. It can easily be seen, however, that when using a selector code the results of matching for inclusion are identical with those of matching for coincidence, since the pluralities matched always contain the same number of holes. This is why only selector codes are used in the EIM machine.

Now let us see how characteristics of superpositional, direct and local code zones are matched. We shall assume that these

three zones take up a part of the punched card consisting of a certain number of complete columns. Taking it for granted that the fields of the storage unit in which question data have not been specified (or even the sections in which primary code symbols have not been specified) do not contain secondary code symbols, we shall define the selection specification for the cards required more accurately as follows: those cards are to be selected whose plurality of punched bits  $M$  (in the part of the card under consideration) includes the plurality of bits containing code symbols in the storage unit  $M^*$  (the bits of the punch card and the storage unit being identified).

Making use of the example discussed in the previous paragraph we shall explain these selection specifications for two cases when they are and when they are not fulfilled. In the first case let the search be made on the following question: «to find all the medical records for Russian females aged from 50 to 59 with no free HCl in their gastric juice, with erythrocyte sedimentation test showings from 40 to 49, with absence of appetite and with filling deficiency in stomach when X-rayed, who suffered in 1953 from achyllic gastritis and secondary anaemia and were subjected to subtotal resection of the stomach by physician Шуроченко». The question data are entered in encoded form in the storage unit in accordance with the accepted card model (fig. 6). A punched card containing holes corresponding to the code symbols in the storage unit, is shown in fig. 11. In the second case let the inquiry differ from the first only in dealing with men subjected to total resection of the stomach (index — L'Ж 1296). Hence, the punched card for the second question, which is shown in fig. 12, differs from the first only in that the 12th position of column 14 is punched instead of the 11th, and that the hole of the lower characteristics in the last section is in column 80 instead of 79.

If we now check the fulfilment of the selection specification for the card shown in fig. 10, ignoring the right half of the card, then by matching the plurality of holes ( $M$ ) contained in the first 40 columns of the card with the plurality  $M^*$  contained in the first 40 columns of the cards shown in figs. 11 and 12, it will be seen that in the first case  $M$  includes  $M^*$ , whereas in the second case it does not. Hence, for the data specified by the first question and recorded in the first three zones, the punched card is selected, while for the data of the second it is not, in accordance with the meaning content of the two questions.

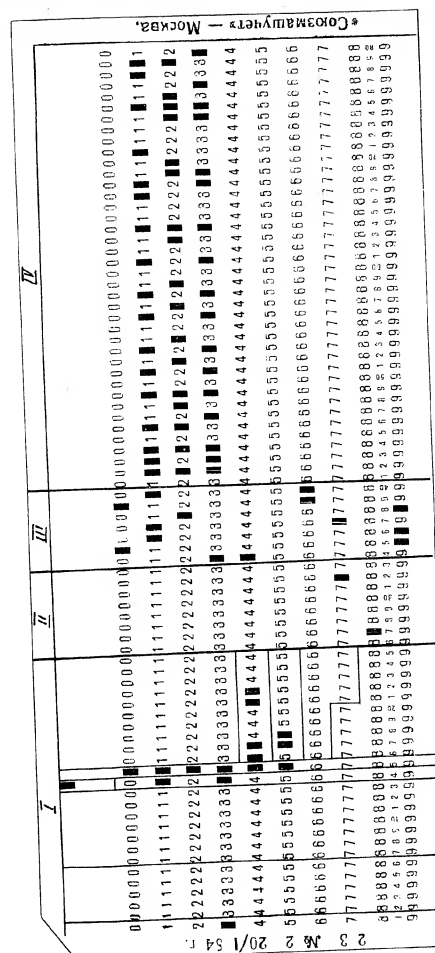
Since the scanning unit of the EIM machine consists of 80 brushes, under which all the 12 lines (positions) of the punched card pass consecutively, the fulfilment of the selection specifications is checked in the course of 12 strokes. During the «i-th»



In case of a non-local code zone consisting, as before, of a certain number of complete columns, each line of the punched card (rather, the part of the line belonging to the zone in question) must be matched not only with the corresponding line of the storage unit, but with all its lines. In matching each pair of lines—the  $i$ -th line of the card ( $i=0, 1, \dots, 9, 11, 12$ ) and the  $j$ -th line of the storage unit ( $j=1, 2, \dots, K$ , where  $K$  is the number of characteristics in the question)—the inclusion of the plurality  $M_j^*$  of bits containing code symbols in the  $j$ -th line of the storage unit, in the plurality  $M_i$  of punched bits in the  $i$ -th line of the punch card is checked, as before. The matching is carried out in exactly the same way as described above, by determining whether the pluralities  $M_i$  and  $M_j^*$  intersect. Thus, if the registering element is not energized when  $M_i$  and  $M_j^*$  are matched,  $M_i$  includes  $M_j^*$ , i. e. the characteristic recorded in the  $j$ -th field of the storage unit coincides with the  $i$ -th characteristic of the punched card.

Since the specifications for the selection of the desired cards in the case of a non-local code are of a more complex nature than the simple requirement of inclusion of all the characteristics specified in the storage unit within the aggregate of index data entered on the card, each characteristic in the storage unit has its own assigned element which registers the inclusion of that characteristic in the index data on the card. This also solves the problem of evolution—the matching of all the lines of the storage unit with each line of the card. Each line of the card is matched in this case at once with all the lines of the storage unit simultaneously interplugged through intermediate elements with the groups of brushes corresponding to the pluralities  $M_j^*$  and with their individual registering elements. During each run it is thus found which of the registering elements failed to be energized for at least one line of the punched card, thus revealing which of the characteristics in the storage unit are contained among the index data on the punched card. If the number or relative position of the registering elements not energized complies with the selection specifications, which is determined by means of the selecting unit, adjusted for these specifications, the card will be selected.

This will become clearer if explained for our example. The index data of the non-local code zone shown in fig. 10 is represented by the punched bit pluralities  $M_0, M_1, \dots, M_5, M_{11}$  (designated according to their respective line numbers). The question data (fig. 11, 12) is represented by the pluralities  $M_1^*, M_2^*$  and  $M_3^*$  (numbered by the line from top to bottom). For the first question (fig. 11) among the pluralities  $M_i$  shown in fig. 10 the pluralities  $M_{11}, M_1$ , and  $M_2$  include the pluralities  $M_1^*, M_2^*$



and  $M_3^*$  respectively. Therefore, when line 11 of the card comes under the brushes the registering element of the first question characteristic will not be energized; when line 1 comes through, the element of the second question characteristic will not be energized, and when line 4 goes through, the element of the third characteristic will not be energized. Since the selection specifications in our example consist merely in the requirement that all three question characteristics be included in the index data on the punched card, these specifications are fulfilled in this case and the card will be selected. For the second question (fig. 12) the plurality  $M_3^*$  is not included in any of the pluralities  $M_1$ , and therefore the registering element of the third characteristic will be energized for all the lines of the card, which will register non-fulfilment of the selection specifications.

There will obviously be no difficulty in adjusting the wiring of the selecting unit to simultaneously take account of the condition of the registering elements for several non-local code zones and for superpositional, direct and local code zones, making it possible to select the punched card in one run according to all the selection specifications. If the capacity of the storage unit is increased, it can be made also to hold several questions at once and to select in one run all the cards complying with at least one of the questions. This greatly increases searching speeds and means less wear and tear for the cards. The selected cards are then examined separately on each question.

## 5. Recording and Reading Information

The coded designations of the index data of the information element are entered on a punch card by an operator using a card punch.

When the index data is encoded by superpositional, direct or local codes, to be entered as holes punched according to a definite pattern on the punch card, a conventional 80-column card punch is used. The design of this punch is slightly modified to permit punching various numbers of holes in the same column of the card (fig. 13).

When the index data are encoded after a non-local code, according to which each characteristic is entered in one of the positions of the card, two cases of recording are possible. In the first, when the number of different primary code symbols is large, recording is done by means of an ordinary card punch. In the second case, when the number of different primary code symbols does not exceed 40 or 50, the card punch is equipped with a simple device for encoding the individual symbols after the accepted code. When recording, the card passes under the punches of the punch mechanism several times, according to the number of characteristics to be entered.

Another method may also be used for entering index data by non-local code, based on the utilization of the duplicating mechanism of the punch. In this method a master card is prepared beforehand for each characteristic, the latter being punched in a definite position on the card as a combination of holes. The master cards corresponding to the index data of the information element are placed one by one in the duplicating mechanism of the punch and the holes in them are duplicated in various lines of one punch card.

The data punched on the cards are verified by another operator making a second set of cards, after which the two copies are compared. When using the duplicating mechanism the cards are verified automatically.



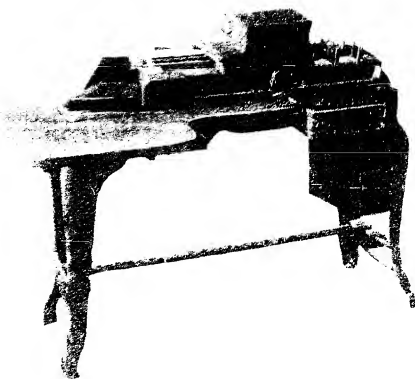


Fig. 13



Fig. 14

A conventional verifier (fig. 14) may be used to verify the data entered on the card, if the wiring of the verifier is altered to allow each column to be verified in more than one stroke. Only one hole in the column is verified at each stroke.

After selecting the punched cards in accordance with any specified question, the basic bibliographical on the data inform-

- 36 -

ation elements contained in them have to be read. These data are, for instance, the catalogue number or some other conventional number. These data being entered on the card in the form of punched holes, they have to be listed on paper to be read.

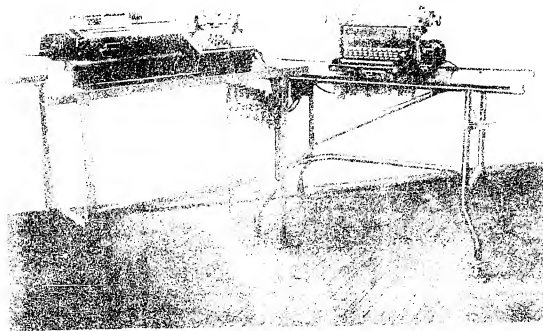


Fig. 15

Listing from the punched cards may be done by means of an ordinary or alphabetic tabulator. However, inasmuch as the bibliographical data are compact and the time needed to list them, say, with a typewriter, is not very great, a comparatively inexpensive listing device is used for this purpose. This device for listing data from punch cards consists of a motor-driven typewriter and a conventional punch card verifier (fig. 15). The two units are electrically connected.

The punched cards, the data of which have to be listed, are placed in the magazine of the feed mechanism of the verifier (fig. 15-a). When listing, the card passes under the scanning mechanism of the verifier column by column, and the data are transmitted as electrical pulses to the magnets of the typewriter (fig. 15-b), which lists the data automatically on paper.

## 6. EIM Design

The EIM machine (fig. 16) was built on the basis of a C 80-1 horizontal sorter and is an improved modification of the latter. The improvements, intended to impart to the EIM, the

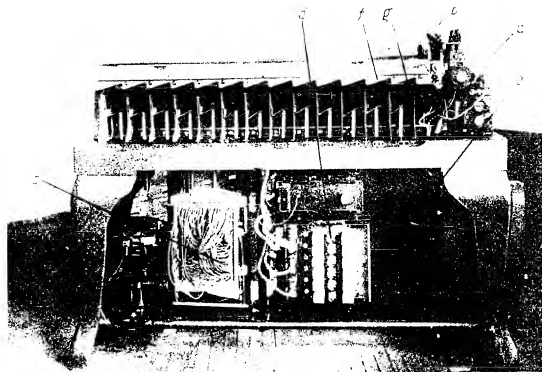


Fig. 16

required universality in fulfilling its tasks, involved alterations in the scanning mechanism and in the mechanism for entering question data (storage unit); besides, an electrical wiring diagram was developed and set up for automatic selection of the required information.

The wiring diagram for automatic selection of information required consists, essentially, of two sections. The first section is the diagram for matching the information element characteristics. The second is the diagram for registering the results of the matching operations and controlling the device for transporting the punched cards to the respective pocket of the machine.

The matching diagram has no electron tubes or relays and is made up of inexpensive and reliable elements. The registering diagram includes several electronic and relay elements, the number of which depends on the number of characteristics in the question. The number of elements in the part of the registering diagram which serves the matching diagram for characteristics recorded by a non-local code must be equal to the number of characteristics in the question. The part of the registering diagram which serves the matching diagram for characteristics entered on the punch card in other codes requires only one element. Such electrical wiring for automatic selection of information provides the required universality of the EIM operation at low cost and with sufficient reliability.

As has been mentioned above, the EIM can select information entered on punch cards in codes of any kind, or combinations of codes, except the ordinal code. Especially noteworthy is the possibility of selecting information simultaneously for several question characteristics in one run of the batch of cards to be examined. The convenience of this method of selection is in the possibility of introducing various specifications of logical relations between the characteristics of the question. Special electronic units were developed and included in the wiring diagram of the EIM, permitting the introduction of logical specifications between any 4 question characteristics entered in a non-local code.

The additional units include an electronic counter for registering the number of question characteristics (from 1 to 4) which coincide with the characteristics of the information element examined. The capacity of the counter can be increased if necessary. By using this counter information elements containing a certain predetermined number of question characteristics can be selected.

An electronic selecting device has also been developed, by means of which information elements containing, for instance, the characteristics A and B or C, but not containing D, etc. (page 10) can be selected.

It should be noted that selection of information entered in a non-local selector code, if the question contains only one characteristic, can be done, using a very simple matching diagram.

The principles of design of the EIM wiring diagram make it possible, if necessary, to increase the capacity of the storage unit 5 to 8 times without great difficulty, thus permitting information to be selected simultaneously for several questions.

Like the conventional horizontal sorter, the EIM has a mechanism for feeding cards at a rate of 400 per minute, and a magazine, in which the cards to be examined are placed (fig. 16-a).

When the EIM is set into operation the cards are fed one by one from the magazine to the brushes of the scanning unit (fig. 16-b). Unlike the ordinary sorter, which has only 1 or 12 (machine with a selector device) brushes, the scanning unit of the EIM has 80 brushes, one for each column on the punch card.

The question data are set up on a removable plugboard (fig. 16-c). The same plugboard is used to set up the specifications for selecting the required cards. A more convenient storage unit of greater capacity has been designed in the form of a keyboard.

Fig. 16-d shows the registering elements of the wiring diagram, which register the results of matching the cards. There are 12 elements for non-local codes, and one for other codes.

The greater part of the EIM wiring is mounted on 2 special panels (fig. 16-e).

The selected cards pass into pocket I (fig. 16-f), and the rest go to pocket II (fig. 16-g).

Translated by D. Sobolev.

ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ АН СССР

В. П. ЧЕРЕНИН

# НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДОКУМЕНТАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОИСКОВ

МОСКВА — 1965

ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ АН СССР

В. П. ЧЕРЕНИН

НЕКОТОРЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ  
ДОКУМЕНТАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИЯ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ПОИСКОВ



---

Москва—1955

Подписано к печати 8/III-1955 г.  
Бумага 60×92/16 43/4 п. л. т—02410.  
Тираж 2000 экз. Цена книги 4 р.  
Заказ № 453

Институт научной информации Академии  
наук СССР  
Москва, Д-219, Балтийский пос., 42-Б

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Работа посвящена развернутой постановке проблемы механизации информационных поисков, связанной с некоторыми проблемами документации и являющейся частью общей проблемы улучшения обслуживания и организации научного труда, поставленной академиком А. Н. Несмеяновым в 1952 году. На основании изученной литературы и самостоятельной работы в 1952—1953 гг. в работе дается в систематизированном виде современное состояние проблемы и приводятся некоторые рекомендации. Большинство положений работы не являются новыми (хотя некоторые из них и были получены самостоятельно, как например, нелокальный код), тем не менее уточнение постановки задачи, введение классификации кодов и устройств, а также выявление общих для всех устройств принципов реализации сравнения кодов позволяет отчетливее определить области применимости и сравнительную ценность тех или иных кодов и устройств. В результате такого исследования удалось также получить принципиальные схемы различных устройств, механизмирующих поиски.

В § 1 вкратце упоминается об истории борьбы за преодоление трудностей, связанных с хранением и распространением сведений. Все более и более быстрое возрастание объема последних неминуемо должно привести к революционному перевороту, подобному созданию письменности или изобретению кинематографа. Полуфантастическая информационная служба будущего (передача с большой скоростью всех сведений по телевидению с микрофильма) приводится как пример комплексного решения не только проблем хранения и распространения, но и проблемы быстрого отыскания сведений. Подробнее о последней проблеме говорится в § 2 и § 3. Уже при рассмотрении основных (в настоящее время) средств отыскания сведений — указателей и различных справочников — возникают две важные проблемы информационных поисков:

а) выявление и стандартизация характеристик сведений, по которым эти сведения могут быть найдены, и установление взаимоотношений между характеристиками, что тесно связано с работами по терминологии и классифицированию;

б) разработка рациональной методики анализа содержания сведений и задаваемых вопросов.

Первая проблема — это проблема создания специального «информационного языка», вторая — проблема индексирования.

В § 2 приводятся различные примеры построения характеристик, а в § 3 отмечается ряд недостатков, присущих указателям.

Несовершенство указателей как средства отыскания сведений приводит к третьей проблеме — механизации информационных поисков, краткой, но, по возможности, строгой формулировке которой посвящен § 4. Здесь приводятся также общее описание устройств, механизмирующих поиски, и подразделение их на устройства параллельного и последовательного действия.

В § 5 обосновывается то, что создание специального информационного языка является ключевой проблемой среди трех проблем информационных поисков. Особенно при переходе к механизированным поискам возникает необходимость взамен эрудиции ищущего отразить связи между характеристиками (словами языка) в самом языке. Важнейшие из связей отмечаются, а также указываются некоторые пути для отражения их в языке. В конце § вкратце говорится об индексировании и о первичных кодовых обозначениях характеристик.

В § 6 дается подробное описание и классификация различных систем кодирования характеристик в самих устройствах, механизмирующих поиски. Указывается целесообразность применения и сравнительная ценность различных систем для тех или иных задач, а также влияние выбора того или иного кода на процесс сравнения и сложность устройства. Выводятся общие для всех устройств принципы реализации кодовых обозначений, обеспечивающие сравнение кодов характеристик сведений с кодами характеристик вопроса. Результаты из этого параграфа существенно используются при следующем ниже описании различных устройств.

В § 7 описываются устройства параллельного действия:

- а) перфокарты с вырезками по краям;
- б) накладывающиеся перфокарты;
- в) более сложное устройство в виде электрической схемы;
- г) устройство типа Card Translator'a, применяемого для преобразования телефонных вызовов.

Вкратце указываются возможности применения этих устройств.

В § 8 в качестве примера простейших устройств последовательного действия рассматриваются довольно широко применяемые для информационных поисков счетно-аналитические машины обычного типа и специально усовершенствованные. Выясняются функции, которыми должна обладать усовершенствованная сортировальная машина для обеспечения наиболее гибкого сравнения и поисков, а также намечаются необходимые для этого усовершенствования.

В § 9 дается краткое описание более сложных и быстродействующих устройств последовательного действия — устройств с непрерывным носителем — магнитной пленкой и фотопленкой. Последнее устройство — так называемый микрофильмовый селектор — является, по мнению автора, наиболее перспективным, особенно для комплексного решения проблем хранения, распространения и отыскания сведений.

Последний § 10 содержит некоторые выводы, касающиеся последовательности решения проблемы механизации информационных поисков и целесообразности применения и постройки различных устройств.

\* \* \*

## § 1. ХРАНЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕДЕНИЙ

Возрастающий с большой скоростью объем сведений, которыми располагает человечество, вызывает, с одной стороны, чувство гордости и восхищения достигнутыми успехами, а с другой стороны — чувство опасения перед трудностями, связанными с хранением и распространением этих сведений, а также, главным образом, перед все более возрастающей трудностью своевременного отыскания всех сведений по любому заданному вопросу\*. Это усилившееся за последние десятилетия чувство опасения разделялось и разделяется многими учеными, среди которых достаточно будет упомянуть акад. С. И. Вавилова, образно писавшего о затруднениях человека, стоящего перед Гималаями книг, и акад. А. Н. Несмеянова, включившего указанные выше трудности в поставленную им в 1952 году общую проблему улучшения обслуживания и организации научного труда\*\*.

Возникновение и преодоление трудностей, связанных с хранением и распространением сведений, имеет свою длинную историю. Давно прошли те времена, когда сведения хранились только в памяти отдельных людей и передавались из уст в уста. Изобретение письменности резко повысило объем и долговечность хранения и улучшило возможности неискаженной передачи. Изобретение книгопечатания сильно удешевило запись сведений и позволило их широко распространять. Дальнейшее развитие книгопечатания сделало возможным появление периодических изданий, позволяющих быстро и еще более широко, чем книги, распространять сведения, подобранные по отдельным более или менее узким разделам. Такая подборка сведений облегчает и

\* Подробнее о последнем см., например, Л. И. Гутенмахер. К вопросу о машинной технике научной информации. Вестник Академии наук № 8. 1952 г.

\*\* А. Н. Несмеянов. Выступление на годичном собрании АН СССР. Вестник Академии наук № 2. 1952 г.

удешевляет знакомство специалистов с нужными им сведениями и необходима в условиях сильно возросшего общего объема сведений. Наконец, стремление еще больше сократить время, затрачиваемое на ознакомление со сведениями, и исключить возможность утраты сведений, рассредоточенных по различным периодическим изданиям, привело к созданию реферативных журналов и библиографических сборников аннотаций, резюме и обзоров.

Очевидно, не все сведения записываются типографским способом — имеется много сведений, для записи которых прибегают к литографированию, фотокопированию и другим процессам. Для лучшего распространения этих сведений, а также для дополнительного распространения напечатанных ранее сведений в последнее время стали применяться микропечать на микрокарточки и микрофильмовая техника. Микрозапись не только сокращает габариты записей, но и открывает, как будет показано ниже, принципиально новые пути одновременной ликвидации трудностей, связанных, как с распространением, так и с отысканием сведений.

Обеспечиваемое в настоящий момент ценой затраты большого труда и средств более или менее удовлетворительное хранение и распространение сведений не устраняет, однако, беспокойства перед недалеким будущим. Несмотря на возможные усовершенствования типографского процесса и микрозаписи все более увеличивающиеся тиражи записей все более возрастающего количества сведений могут потребовать непосильного труда по изготовлению, хранению и распространению этих записей. В этой связи достаточно будет вспомнить, сколько средств затрачивается сейчас на производство бумаги, постройку типографий, библиотек, читален и других книгохранилищ, редакционно-издательскую деятельность, рассылку и продажу литературы, подготовку и оплату кадров. Все это заставляет думать, что не очень далеко то время, когда совершится новый переворот в деле хранения и распространения сведений, подобный тому, который был вызван изобретением книгопечатания. Трудно предугадать, во что он выльется, однако, дав волю фантазии, можно нарисовать себе следующую картину информационной службы будущего.

Все поступающие и все прежние сведения, после необходимой редакционной обработки и надлежащего внешнего оформления, снимаются в очень сильно уменьшенном виде на фотопленку. Вместо больших тиражей, изготавливается только несколько копий такого микрофильма, рассылаемых в один или несколько информационных центров. Эти центры непрерывно транслируют на многих волнах все имеющиеся у них сведения с громадной частотой следования кадров микрофильма, доходящей, например, до миллиона в секунду. При такой скорости передачи все

накопленные человечеством сведения могут быть переданы на многих волнах за сравнительно короткий промежуток времени порядка нескольких минут. Прогон микрофильма перед воспринимающим устройством телепередатчика может быть при этом осуществлен без большого износа, например, с помощью вращающегося барабана. Любой кадр микрофильма может быть принят в любом месте на специальный экран телевизора, снабженного выбирающим устройством. Экран должен задерживать изображение кадра на требуемое время, а затем быть готовым к новому восприятию, т. е. играть роль долговечной фотопластинки многократного действия. Выбирающее устройство, действующее синхронно с прогоном микрофильма, открывает доступ изображению на экран или в зависимости от заданного номера кадра, или в зависимости от совпадения кода вопроса, по которому ищутся сведения, и кода содержания сведений записанных в кадре. Последняя возможность была бы особенно ценной, так как позволила бы решить одновременно с проблемой распространения и проблему быстрого отыскания нужных сведений, рассматриваемую ниже. Все потребные для пользования таким телевизором инструкции, классификационные схемы, перечень содержания микрофильмов с указанием номеров кадров и кодовые обозначения передаются в начале микрофильма, что исключает необходимость использования каких-либо печатных сведений.

Трудно переоценить гибкость и эффективность такого воображаемого способа хранения и распространения сведений. Несомненно, что этот или какой-либо иной аналогичный способ окажется также и дешевле, чем существующие, когда объем сведений достигнет определенного предела. Нет нужды говорить о том, что как после появления книгопечатания сохранилась рукописная форма записи, так и при появлении подобной информационной службы часть сведений будет попрежнему храниться и распространяться в существующем сейчас виде. Заметим в заключение, что, несмотря на кажущуюся фантастичность описанной выше информационной службы будущего, почти все потребные для ее осуществления технические узлы существуют и непрерывно совершенствуются.

\* \* \*

## § 2. ОТЫСКАНИЕ СВЕДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ УКАЗАТЕЛЕЙ. ПЕРВАЯ И ВТОРАЯ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОИСКОВ

В течение долгого времени при отыскании нужных сведений люди обращались только к собственной памяти или к памяти сведущих людей, а после изобретения письменности и книгопечатания дополнительно прибегали к просмотру записей сведений. Для облегчения запоминания и просмотра уже тогда составлялись простейшие классификации и оглавления сведений. Увеличение объема сведений и скорости появления новых сведений в периодических изданиях сделало невозможным не только запоминание, но даже и прочтение специалистом всех сведений по достаточно широкому разделу. Между тем — такова уж диалектика познания — наметился переход от дифференциации к интеграции сведений, и невозможность ограничиваться сведениями только по узким разделам заставляла специалистов обращаться к смежным областям знания. Все это привело к появлению указателей, которые можно рассматривать как промежуточное звено в описании содержания сведений между оглавлениями и аннотациями или рефератами.

Предметные, систематические, авторские, формульные и пр. указатели, наряду с различными справочниками, являются в настоящее время основным средством отыскания нужных сведений. Они тесно связаны с классификацией сведений, так как, с одной стороны, составляются для отдельных более или менее крупных разделов сведений, а с другой стороны, сами характеристики сведений, из которых состоят указатели, находятся в сложных взаимоотношениях, определяемых классификацией и отражаемых в указателях соответствующим расположением характеристик и (особенно, если последние расположены в алфавитном порядке) наличием перекрестных ссылок. Характеристиками в указателях являются основные моменты содержания сведений — фамилии авторов, предметные рубрики, вещества и их свойства и т. п.

Выявление и стандартизация характеристик, а также установление взаимоотношений между ними в соответствии с классификационными схемами и разработка последних являются весьма трудной работой, выполняемой библиографами, предметизаторами и систематизаторами. Это — работа по созданию специального «информационного языка». Создание такого языка является первой и наиболее сложной проблемой в решении общей задачи об отыскании сведений.

Характеристики и соответствующие им названия (номера) элементов информации печатаются рядом на страницах печатных указателей или помещаются рядом, если указатель составлен на библиотечных карточках. Под элементом информации мы понимаем здесь совокупность более или менее тесно связанных сведений. Сведения, например, могут быть связаны только тем, что содержатся в одной и той же статье, если эта статья не слишком обширна. В других случаях за элемент информации могут быть приняты сведения, записанные на какой-либо странице или в каком-либо абзаце статьи. Элементом информации может являться и совокупность сведений о каком-либо эксперименте, процессе, веществе, растении, животном или человеке. Таким образом, понятие это весьма условно и меняется от случая к случаю.

Для сведений, содержащихся в каждом элементе информации, может быть составлено много характеристик, которые распадаются на «библиографические» и «предметные» характеристики. К библиографическим характеристикам относятся все данные о времени, месте, авторе и прочих условиях, связанных с появлением элемента информации. Предметные характеристики описывают саму суть сведений, содержащихся в элементе информации. При составлении указателей все характеристики одного и того же элемента информации рассматриваются обычно как законченные и не зависящие друг от друга, самостоятельные единицы. Для библиографических характеристик это естественно — год, страна, журнал, автор и т. п. являются такими единицами. Для предметных характеристик это условие означает конструирование иной раз довольно сложных предметных рубрик, как например, «флуоресценция молока и вина, освещенных ультрафиолетовыми лучами». Такая независимость характеристик, соответствующих одному элементу информации, не исключает сложных взаимоотношений между характеристиками в соответствии с классификационными схемами.

Другой возможный подход — описание элемента информации простейшими предметными характеристиками, имеющими самостоятельное значение, наметился в последнее время при рас-



смотрении возможностей механизации информационных поисков. В этом случае между характеристиками, соответствующими одному элементу информации, уже существуют простейшие логические связи. Так, например, если вместо характеристики «флуоресценция молока и вина, освещенных ультрафиолетовыми лучами» взять простейшие характеристики: «флуоресценция», «молоко», «вино» и «ультрафиолетовые лучи», то между последними имеется по крайней мере та связь, что они совместно описывают некоторое явление, чего нельзя, например, сказать о характеристиках: «ультрафиолетовые лучи» и «микробы», если в том же элементе информации содержатся сведения о микробах в вине и молоке, но не говорится о действии на них ультрафиолетовых лучей. Логические связи могут быть и более сложными, чем в этом примере, однако надлежащим изменением объема элемента информации и выбором характеристик можно добиться того, чтобы запись и выявление этих связей при поисках не представляли больших трудностей. Такой подход является более обещающим как в отношении возможностей стандартизации характеристик, так и в отношении полноты описания элементов информации. Последнее следует из того, что сочетания простейших характеристик заменяют все возможные сложные характеристики, которые только можно было бы составить при первом подходе, и чего, однако, никогда не делается в силу практической невозможности.

Выбор характеристик для каждого элемента информации является работой, требующей большого искусства от библиографов и предметизаторов, особенно в том случае, когда число характеристик должно быть ограниченным и приходится решать, какие характеристики наиболее существенны и могут оказать наибольшую пользу при поисках. Здесь опять возникает трудность, связанная со стандартизацией и классификацией характеристик. Если бы был создан специальный информационный язык, то с помощью специальных словарей такого языка, после разработки строгих правил — своеобразной «грамматики», можно было бы переводить содержание элемента информации в набор характеристик более или менее однозначно, вне зависимости от того, кто этот перевод делает. Это же имело бы место и при формулировании в виде набора характеристик тех вопросов, по которым разыскиваются сведения. Создание таких правил, т. е. разработка рациональной методики анализа содержания элементов информации и содержания задаваемых вопросов, является второй проблемой, возникающей при решении задачи об отыскании сведений.

Уже сложность двух вышеприведенных проблем свидетельствует о больших трудностях, встречающихся при составлении

указателей. Большие усилия, направленные на преодоление этих трудностей, затрачиваются библиографами, предметизаторами и систематизаторами. Создаваемые ими указатели являются в настоящее время, как уже говорилось выше, основным средством отыскания нужных сведений, однако средство это, к сожалению, не является достаточно эффективным.

### § 3. НЕДОСТАТКИ УКАЗАТЕЛЕЙ

Основным и наиболее трудно устранимым недостатком указателей, описывающих широкие разделы сведений, является их неполнота, вызванная практической невозможностью внести в них все возможные сложные характеристики, являющиеся комбинациями простейших характеристик. Если к тому же учесть, что сведения часто ищутся не по одной, а по совокупности характеристик, то ограниченность применения указателей станет еще более очевидной, так как записать все возможные комбинации характеристик — задача безнадежная, а искать вручную среди элементов информации, соответствующих каждой заданной характеристике, общие элементы весьма трудно.

Обычно для каждого элемента информации выделяют только часть библиографических характеристик и наиболее существенные предметные характеристики. В указатели вносятся в качестве входа выделенные предметные характеристики и небольшая часть выделенных библиографических характеристик, а в качестве выхода — или только название элемента информации, или остальные библиографические характеристики (куда включается и название элемента), или все выделенные характеристики (последние две возможности применяются, главным образом, в картотечных указателях). Входные характеристики часто разбиваются на группы. Так, например, вместо объединенного указателя составляют отдельно авторский, предметный, формульный и др. указатели. Входные характеристики располагаются, как уже говорилось выше, или в алфавитном, или в логическом (в соответствии с классификацией) порядке и сопровождаются перекрестными ссылками на взаимосвязанные (сходные или подчиненные) характеристики. Неполнота указателей при таком способе их составления проявляется, главным образом, в том, что для элементов информации выделяются только наиболее существенные предметные характеристики и их комбинации, а второстепенные характеристики и комбинации опускаются. Между

тем с течением времени взгляд на полезность характеристик изменяется, и с помощью ранее составленных указателей становится невозможным найти даже весьма ценные, с новой точки зрения, сведения, если характеристики этих сведений не были внесены в указатель.

Так как в печатные указатели обычно вносятся не только не все могущие быть входными характеристики и комбинации последних, но и не все могущие быть выходными характеристики, а только названия элементов информации, то указатели не только страдают неполнотой, но и не позволяют решить следующую общую задачу по отысканию сведений:

Найти по некоторой заданной совокупности характеристик такие совокупности характеристик, которые описывают вместе с заданной совокупностью какие-либо элементы информации.

Так как среди искомых совокупностей характеристик находятся и названия соответствующих элементов информации, то такая задача является более широкой, чем простое отыскание названий элементов информации по заданной совокупности характеристик. Решение этой задачи представляет большой интерес, так как оно позволило бы отыскивать связи между сведениями (а не только принадлежность их тем или иным элементам информации) без детального рассмотрения самого содержания сведений из элементов информации. Так, например, можно было бы устанавливать причинную связь между характеристиками из заданной совокупности и характеристиками, общими для всех искомых совокупностей.

Большим недостатком указателей является также необходимость затраты на поиски нужных сведений большого труда и времени. В случае печатных указателей поиски, даже для отдельных разделов сведений, приходится производить в разных местах, так как указатели состоят из отдельных выпусков, издаваемых периодически по мере поступления новых сведений. Издание указателей, обобщающих отдельные выпуски, дело не простое и не может производиться слишком часто, а поэтому не устраняет полностью этого неудобства. В случае указателей, составленных из библиотечных карточек, это неудобство отсутствует, но поскольку такие указатели не всегда находятся под рукой, то пользование ими в силу этого приводит к потере времени. Еще более существенная затрата времени и труда потребна для отыскания в указателях нужных характеристик, особенно предметных. Не говоря уже об усилиях, прилагаемых для самого просмотра (перелистывание страниц, переборка карточек, чтение), процесс поисков требует обдумывания для определения вида и местонахождения характеристик, описывающих искомые

сведения. Упомянувшиеся выше трудности анализа содержания задаваемого вопроса усугубляются отсутствием стандартных характеристик и, несмотря на наличие в указателях перекрестных ссылок и иногда классификационных схем, часто требуют для своего преодоления совместных усилий ищущего специалиста и библиографа, работающего с указателем. Нахождение элементов информации по совокупности характеристик, как уже говорилось выше, требует еще большего труда.

К недостаткам указателей можно отнести также то, что непосредственно отыскиваются обычно не сами нужные сведения, а только названия элементов информации и лишь изредка также и характеристики этих сведений. Получение самих нужных сведений по названиям элементов информации является, таким образом, дополнительной задачей, решение которой отложено во времени от отыскания их местонахождения. Не говоря уже о том, что это требует дополнительных усилий, это не всегда удобно, так как нельзя непосредственно проверить результаты поисков, т. е. убедиться, что элементы информации с найденными названиями действительно содержат искомые сведения.

Следует, наконец, отметить, что весьма трудоемка работа непосредственно по изданию печатных указателей и по содержанию и приготовлению карточек для картотечных указателей. У некоторых реферативных журналов, например, годовые указатели занимают до 20% всего текста. Картотечные указатели (каталоги) бывают подчас очень громоздки, занимают большое помещение и содержат большое число одинаковых карточек, которые дублируются в зависимости от числа входных характеристик, выделенных для элемента информации, изображаемого карточкой.

Конечно, не всем указателям свойственны все вышеперечисленные недостатки, как и не для всех разделов сведений представляют трудности составление стандартных характеристик и анализ содержания элементов информации и задаваемых вопросов. Больше того, даже не для всех разделов сведений требуется составление указателей, а достаточно ограничиться простым просмотром сведений. Однако для большинства основных разделов сведений все или некоторые из перечисленных недостатков и трудностей очень сильно снижают эффективность информационных поисков. Это и явилось причиной многочисленных попыток ликвидировать некоторые или даже все указанные недостатки с помощью механизации.

#### § 4. ТРЕТЬЯ ПРОБЛЕМА — МЕХАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОИСКОВ

Механизация информационных поисков является, таким образом, третьей проблемой, возникающей при решении задачи об отыскании сведений. Целью механизации может служить, как устранение отдельных недостатков, присущих указателям, так и создание новых устройств, заменяющих указатели.

Механизация работ по составлению печатных указателей, имеющая много общего с механизацией редакционно-издательских работ, может частично устранить только один из присущих указателям недостатков. Эффективность такой механизации еще не вполне выяснена и очень сильно зависит от степени стандартизации характеристик. Польза от нее, главным образом, может заключаться в автоматической, механизированной раскладке перфокарт в нужном порядке (например, алфавитном) и в автоматической печати с этих перфокарт на лист. На каждой перфокарте в этом случае пробиты в закодированном виде полное название характеристики и название (номер) соответствующего элемента информации. Раскладка в требуемом порядке может производиться на обычных сортировальных счетно-аналитических машинах, а печатание с перфокарт полного текста названий характеристик и элементов информации на алфавитных табуляторах или специальных пишущих или типографских машинах, снабженных дешифрирующим устройством.

В устройствах, механизующих сами поиски информации и заменяющих указатели, характеристики  $r_k \in R$  и элементы информации  $e_k \in E$  реализуются в закодированном виде в форме, доступной для восприятия машиной. Взаимное соответствие между  $r_n$  и  $e_k$  задается в таких устройствах или непосредственно, или так же, как и в указателях, в виде  $r_n \leftrightarrow E_n$ , где  $E_n$  — подмножество множества  $E$  ( $E_n \subseteq E$ ), состоящее из всех тех  $e_k$ , для описания содержания которых употребляется  $r_n$ , или в виде  $e_k \rightarrow R_k$ , где  $R_k \subseteq R$  и состоит из всех  $r_n$ , описывающих содержание сведений из  $e_k$ .

Первый способ задания связей применяется обычно в том случае, когда и  $P_n$  и  $e_k$  реализуются в одинаковой форме, например, в виде входных и выходных шин. Тогда каждая связь, порождаемая парой соответствующих друг другу элементов  $P_n$  и  $e_k$ , реализуется в виде надлежащей коммутации шин.

Чаще, однако, встречается более дешевый и компактный способ реализации  $P_n$  и  $e_k$  в сопряженной форме — в виде участков так называемого носителя: перфокарт, кадров магнитной пленки, кадров фотопленки и т. п. и нанесенных на них пробивок, намагниченных пятен, темных и прозрачных квадратиков и т. п.

В этом случае связи  $P_n \rightarrow E_n$  или  $e_k \rightarrow R_k$  отражаются просто принадлежностью каждому участку носителя, соответствующему характеристике  $P_n$  или элементу информации  $e_k$ , изображений всех элементов из соответствующего подмножества  $E_n$  или  $R_k$ . Очевидно, что такая простота задания связей происходит за счет дублирования изображений элементов из  $E_n$  или  $R_k$ .

Задание соответствия в виде  $e_k \rightarrow R_k$  весьма выгодно, когда ищутся не только названия (номера)  $e_k$ , но сразу и все характеристики или даже и полные описания сведений из  $e_k$ , так как полные описания могут быть записаны на участках носителя рядом с изображениями характеристик, причем дублироваться в этом случае будут только изображения характеристик, а не полные описания. Задание соответствия в виде  $P_n \rightarrow E_n$ , не обладая только что указанным преимуществом, оказывается зато более приспособленным для устройств параллельного действия, которые могут производить поиски во много раз скорее устройств последовательного действия.

Подразделение устройств, механизмирующих информационные поиски, на устройства параллельного и последовательного действия является естественным продолжением имеющегося подразделения прежних способов отыскания нужных сведений на: а) последовательный просмотр содержания элементов информации, при котором производится проверка на включение нужных сведений в каждый из этих элементов, и б) отыскание по указателям групп элементов информации, соответствующих характеристикам вопроса, а затем выделение из этих групп общей части — пересечения. Очевидно, что при первом способе отбор может быть произведен более тщательно и будут найдены полные описания, а не только названия элементов информации, но зато такой последовательный просмотр потребует больше времени.

Таким образом, множество искомым элементов информации  $E^*$  находится по  $P^*$ , состоящему из заданных характеристик  $P_{n_1}, P_{n_2}, \dots, P_{n_k}$ , обычно в виде пересечения соответствующих  $E_n$ :

$$E^* = E_{n_1} \cap E_{n_2} \cap \dots \cap E_{n_k}$$

в случае устройств параллельного действия, или находится в виде всех тех  $e_k$ , для которых

$$P_k \supset P^*$$

в случае устройств последовательного действия. Очевидно, что оба способа нахождения  $E^*$  приводят к одинаковым результатам.

Отыскание  $E^*$  с помощью сравнения  $P_k$  с  $P^*$  более эффективно, чем отыскание  $E^*$  в виде пересечения, если между  $P_n$  как из  $R_k$ , так и из  $P^*$  существуют некоторые логические связи и сравниваются не только элементы из  $R_k$  и  $P^*$ , но и сами связи. Отметим, однако, что сравнение связей не применялось почти ни в одном из существующих устройств.

Процесс отыскания  $E^*$  в устройствах последовательного действия требует, таким образом, последовательного прогона или подключения участков носителя к воспринимающему устройству, передающему изображения характеристик из  $R_k$  в сравнивающее устройство, где они сравниваются с изображениями характеристик из  $P^*$ , хранящимися в запоминающем устройстве. Участки носителя с нужными элементами информации или непосредственно отделяются от остальных участков, или содержание их быстро перезаписывается или фотографируется. То, что на всех этих этапах сопоставляется только один элемент информации с характеристиками вопроса, позволяет обойтись для процесса сравнения минимумом оборудования, но зато требует создания быстродействующего прогоняющего или подключающего устройства, не изнашивающего очень сильно носитель.

В устройствах параллельного действия отыскание нужных элементов информации производится за небольшое число этапов, но зато в сравнении одновременно может участвовать большое число элементов информации. Больше того, пересечение подмножеств  $E_n$  оказывается проще искать, как дополнение до всего множества  $E$  суммы дополнений до  $E$  этих подмножеств, т. е.

$$E^* = E_{n_1} \cap E_{n_2} \cap \dots \cap E_{n_k} = \overline{E_{n_1}} \cup \overline{E_{n_2}} \cup \dots \cup \overline{E_{n_k}}$$

При таком способе решения в сравнение вводятся все  $e_k$  из  $E$ , поэтому при большом числе элементов информации поиски приходится проводить несколько раз среди более или менее крупных частей, на которые разбивается  $E$ . Вывод найденных  $e_k$  должен также осуществляться параллельно, например, фотографированием или путем последовательного просмотра и записи названий только найденных  $e_k$  без какого-либо просмотра ненужных  $e_k$ , так как иначе мы вернулись бы к устройствам последовательного действия. Все это приводит к тому, что выигрыш

в скорости достигается в устройствах параллельного действия за счет увеличения количества и громоздкости оборудования.

Более подробное описание различных устройств последовательного и параллельного действия будет дано ниже после рассмотрения вопросов, связанных с кодированием и с созданием специального информационного языка, а сейчас остается еще упомянуть о том, в какой степени подобные устройства устраняют недостатки, присущие указателям. Устройства параллельного действия служат главным образом для облегчения поисков общих элементов информации среди элементов, соответствующих каждой заданной характеристике. Они позволяют также сильно сократить время поисков, избавиться от ручного труда и избежать дублирования полных описаний элементов информации, правда, обычно за счет их упразднения. Устройства последовательного действия устраняют уже почти все недостатки, присущие указателям (стр.12-14), за исключением недостатков, связанных с отсутствием специального информационного языка. Однако общим для всех устройств недостатком остается то, что, как и картотечные указатели, они в отличие от печатных указателей не всегда находятся под рукой. Изготовление большого числа таких устройств и выполнение массовых заказов в информационных центрах с последующей рассылкой ответов по почте может только на первых порах преодолеть этот недостаток. Полное устранение этого недостатка возможно при объединении процессов распространения и отыскания сведений, как это предполагалось выше в информационной службе будущего.

\* \* \*

## § 5. ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЯЗЫК. ИНДЕКСИРОВАНИЕ

Создание специального информационного языка и рациональной методики анализа содержания элементов информации и задаваемых вопросов приобретает особое значение при переходе к механизированным поискам. Действительно, как мы увидим ниже, не так уж трудно предложить много различных устройств, вполне удовлетворительно механизмирующих просмотр элементов информации и сравнение их содержания с заданными вопросами, однако, как и любая машина, такие устройства не смогут сделать больше того, что в них вложено человеком. Поскольку при механизированных поисках вмешательство человека, вообще говоря, заканчивается после записи содержания элементов информации и задаваемого вопроса в терминах специального информационного языка, то эффективность поисков будет зависеть в конечном счете именно от успешности этого вмешательства. В саму машину, очевидно, можно заложить только эти записи и стандартную схему их сравнения, а все проявления эрудиции человека, необходимые для успешных поисков, как например, знание всех возможных синонимов для любого слова и знание родственных и обобщающих понятий, должны быть отражены в самих записях. Мало вероятно, что в недалеком будущем появится машина, оперирующая непосредственно с обычным текстом, поэтому создание специального информационного языка и приобретает такое значение.

Нетрудно понять, почему эти трудности не имели такого особого значения при поисках с помощью указателей — поиски превращались там в творческий акт, а эрудиция проявлялась самим ищущим, в помощь которому приводились перекрестные ссылки и классификационные схемы. Резкое изменение положения вещей при переходе к механизированным поискам, неучтенное на первых порах чересчур оптимистично настроенными сторонниками таких поисков, привело к тому, что многочисленные устройства, предложенные для механизации информационных поисков, не

смогли найти широкого применения. Такие устройства применялись успешно только для тех задач, где ясен словарный состав информационного языка, а каждый элемент информации может быть описан просто набором характеристик без указания между последними логических связей, тогда как для более широких разделов сведений, например, более или менее крупных разделов химии, отсутствие хорошего информационного языка до сих пор не позволяет эффективно механизировать поиски.

Таким образом, разработка машин для информационных поисков намного опередила работы по созданию информационного языка. Существует даже мнение, что без особых затруднений могут быть предложены устройства, работающие с любым не слишком сложным информационным языком. Поэтому, если для отдельных информационных задач с уже сложившимся простым информационным языком и следует строить более совершенные и дорогостоящие информационные машины, то постройка таких машин для более широких разделов сведений с плохо выясненным информационным языком вряд ли может быть оправдана, пока отставание с языком не будет ликвидировано. В качестве очередной задачи здесь предлагается проведение опытных работ на простых, не быстродействующих и недорогих машинах с различными вариантами информационного языка. Такие работы, несомненно, помогут созданию как наилучшего информационного языка, так и методики анализа содержания элементов информации и задаваемых вопросов, так как позволят оценивать возможности языка и методики по качеству поисков. Параллельно, конечно, должна вестись и работа по выяснению возможностей усовершенствования таких машин, чтобы к моменту выработки языка и методики не получилось отставания в другую сторону.

Переходя к описанию самих проблем создания информационного языка и методики анализа содержания элементов информации и задаваемых вопросов, необходимо отметить тесную взаимосвязь этих проблем. Так, например, наличие и сложность логических связей между характеристиками элементов информации зависит от того, что представляют собой характеристики. Число характеристик, описывающих какой-либо элемент информации или задаваемый вопрос, зависит от формы записи связей между синонимами, родственными и соподчиненными понятиями и т. д. Сложность обеих проблем усугубляется тем, что еще окончательно не выяснены все требования, которым должно удовлетворять их решение. Несомненно, что для полного выяснения этих требований и наилучшего решения проблем необходимо, как уже говорилось выше, широкое экспериментирование. Ниже излагаются поэтому только некоторые уже выясненные требования, которые можно разбить на две связанные группы.

Первая группа требований, предъявляемых к информационному языку, касается в основном словарного состава этого языка, точнее, общих связей, существующих между характеристиками.

Приняв за характеристики отдельные слова или словосочетания — термины, понятия, фамилии и т. д., мы можем заметить между характеристиками следующие общие связи:

а) взаимоисключаемость, в соответствии с которой все характеристики распадаются на группы взаимоисключаемых характеристик, таких, что любой элемент информации может описываться не более чем одной характеристикой из любой группы; даты издания или рождения, обычно фамилии авторов (хотя часто встречаются и соавторы) и, вообще, как правило, совокупность всех подrubрик какой-либо классификационной рубрики являются такими взаимоисключаемыми характеристиками;

б) сходство и полное совпадение, когда совпадающие характеристики являются синонимами;

в) соподчиненность между общими и специфическими, родовыми и видовыми понятиями, могущая быть весьма сложной, так как специфические характеристики могут одновременно подчиняться нескольким общим характеристикам одного порядка подчинения, которые, в свою очередь, подчиняются еще более общим характеристикам и т. д.

Эти связи, как и другие, которые, возможно, потребуются изучить для большей эффективности механизации информационных поисков, тесно связаны с классификацией и терминологией того раздела сведений, в котором организуются поиски. В обычных указателях они частично отражаются наличием классификационных рубрик и перекрестных ссылок, однако, как уже говорилось выше, совершенно недостаточно для полной автоматизации поисков среди широких разделов сведений.

При переходе к механизированным поискам учет взаимоисключаемости характеристик позволяет в ряде случаев сильно упростить конструкцию машин, однако не имеет решающего значения. Знание связей типа сходства, совпадения и соподчиненности, наоборот, необходимо для эффективных механизированных поисков. Зная трудности, связанные с разработкой классификационных схем и унификацией терминов, нетрудно себе представить грандиозность работы по выявлению этих связей для широких разделов сведений, особенно, если учесть, что постоянно появляются новые термины, а сами связи между характеристиками меняются с развитием науки.

Связи между характеристиками могут и должны быть отражены или в самом информационном языке путем соответствующего кодирования характеристик, или при записи содержания элементов информации путем дополнительного описания эле-

ментов информации не только непосредственно выделенными характеристиками, но и связанными с ними характеристиками, или, наконец, при записи содержания задаваемых вопросов также путем введения дополнительных характеристик, связанных с непосредственно выделенными.

Отражение связей в самом языке может быть сделано аналогично тому, как это делается в имеющей довольно широкое распространение за границей универсальной десятичной классификации. Каждое понятие в этом случае записывается в виде числа, отбрасывая младшие разряды у которого, можно получать числа, обозначающие обобщающие понятия. Синонимы обычно изображаются одинаковыми числами, а числа у сходных понятий должны иметь одинаковые значения в старших разрядах. Так, например, число 5 обозначает науку, 52 — астрономию, 53 — физику, 54 — химию и т. д., 531 — механику, 535 — оптику и т. д. Содержание элементов информации и задаваемых вопросов записывается в виде набора таких чисел, а сравнение их между собой производится по желаемому числу разрядов. Несмотря на большую компактность записей такой способ может быть рекомендован только для тех разделов сведений, для которых он удовлетворительно отражает связи и для которых не предвидится большой ломки терминологии и связей, так как переделка старых записей весьма нежелательна. К сожалению, для большинства наиболее важных разделов сведений эти условия не выполняются.

Более гибко в отношении записи существующих связей второй способ, при котором для элементов информации просто записываются все характеристики, связанные с непосредственно выделенными. Однако он весьма громоздок, так как для каждого элемента информации должно выписываться очень много характеристик, и почти столь же неудобен, как и предыдущий способ, при изменении терминологии и связей, а поэтому вряд ли применим. Содержание задаваемых вопросов здесь записывается только в виде непосредственно выделенных характеристик.

Наиболее приспособлен к изменениям связей и терминологии третий возможный способ отражения связей между характеристиками, когда для элементов информации записываются только непосредственно выделенные характеристики. Такой способ весьма облегчает и упрощает перевод содержания элементов информации в набор характеристик. Последние могут выбираться с большим произволом, например, в виде терминов, употребленных в самом описании содержания элементов информации. Связи между всеми применяющимися и вновь появившимися характеристиками, существующие на текущий момент (с учетом последних достижений науки), задаются здесь при анализе содержания

задаваемых вопросов в следующем виде. Вместе с каждой непосредственно выделенной характеристикой вводятся в запоминающее устройство все синонимы и сходные характеристики, а также, если это нужно, то и все соподчиненные характеристики с их синонимами. Ввод в запоминающее устройство и сравнение осуществляется таким образом, чтобы для выбора нужных элементов информации было достаточным совпадение характеристик просматриваемых элементов хотя бы с одной характеристикой из каждой такой группы вопросов характеристик. Неудобством такого способа записи связей является потребность в большом запоминающем устройстве. Действительно, хотя вопрос и содержит обычно небольшое число непосредственно выделяемых характеристик, но зато число синонимов, сходных характеристик и особенно соподчиненных характеристик может быть очень большим. Уменьшение числа дополнительных характеристик и одновременно уточнение заказа может быть выполнено самим заказчиком, если он, руководствуясь словарем информационного языка, в котором отражены все связи между характеристиками, внесет в вопросную карту только безусловно нужные ему характеристики.

Вероятнее всего, наилучший способ отражения связей между характеристиками будет чем-то средним между тремя вышеописанными — выяснить это поможет практика. Однако самым главным остается само выяснение этих связей — работа, сама по себе весьма ценная для науки с ее сложной и подчас запутанной терминологией. Как и составление классификационных схем, эта работа может быть успешно выполнена только при участии большого числа специалистов по различным разделам сведений. Вестись она должна постоянно, чтобы своевременно учитывать все изменения, порождаемые развитием науки.

Весьма обнадеживающим и важным для работы по выяснению связей между характеристиками является то, что эта работа может быть механизирована. Совокупность всех возможных терминов, понятий и др. характеристик из какого-либо раздела сведений может рассматриваться как совокупность элементов информации. Каждый такой элемент информации, т. е. каждое слово информационного языка, может быть аналогично вышеописанному охарактеризовано несколькими фундаментальными характеристиками — словами фундаментального информационного языка. Так, например, «термометр» может быть представлен, как «прибор», «измерение» и «температура». Число фундаментальных характеристик значительно меньше числа элементов информации, и для них проще выявить общие связи и построить грамматику фундаментального информационного языка, чем для исходных характеристик.

Очевидно, что элементы информации, одинаково составленные из одних и тех же фундаментальных характеристик, будут соответствовать синонимам исходных характеристик, а имеющие несколько общих фундаментальных характеристик — сходным или соподчиненным исходным характеристикам. Таким образом, выяснение связей между исходными характеристиками сводится к поискам элементов информации по заданной совокупности фундаментальных характеристик и может быть механизировано тем или иным из описываемых в этой статье способов. Для облегчения поисков и анализа элементов информации совокупность последних обычно разбивается на несколько более или менее изолированных групп.

Описанная выше методика применяется в Массачусетском технологическом институте для разработки информационного языка в области химии. Под руководством J. W. Perry там было собрано около 30 000 терминов (исключая названия веществ и животных), которые затем были подразделены на материалы, процессы, машины, качества, отвлеченные понятия и т. д. Несколько тысяч терминов уже проанализировано с помощью нескольких сотен выявленных фундаментальных характеристик. Для механизации поисков связей между терминами применены перфокарты (см. ниже § 8). Возможности применения такой методики для разработки информационного языка в области механики исследуются в Институте научной информации АН СССР.

Следует отметить, что представление характеристик-слов информационного языка в виде наборов фундаментальных характеристик не только способствует выяснению общих связей между характеристиками, но и может само по себе явиться исковой формой записи характеристик, вполне отражающей эти связи. Эта форма записи характеристик является к тому же, как нетрудно убедиться, промежуточной между тремя, описанными выше, обладая в то же время в меньшей степени присущими последним формам недостатками. Применение такой формы записи характеристик приводит как бы к двухступенным совмещенным поискам. Действительно, с одной стороны, будут отыскиваться элементы информации, содержащие среди своих характеристик надлежащим образом связанные заданные характеристики вопроса, а с другой стороны, вхождение какой-либо характеристики вопроса в число характеристик элемента информации будет определяться вхождением большей или меньшей части фундаментальных характеристик первой в наборы фундаментальных характеристик последних. Необходимые для таких двухступенных механизированных поисков изменения в схемах описываемых ниже устройств не представляют большого труда, поэтому в дальнейшем, чтобы не усложнять изложения, мы на них останавливаться

не будем, считая порядок всех характеристик одинаковым (т. е. не делая различия между обычными и фундаментальными характеристиками).

Вторая группа требований, предъявляемых к информационному языку, касается логических связей, которые могут существовать между характеристиками одного элемента информации. Это вопрос о создании своеобразной «грамматики» информационного языка и о способе записи «грамматических» логических связей между характеристиками, имеющими, как уже говорилось выше, и самостоятельное значение. Способ записи должен быть при этом таков, чтобы элемент информации можно было выбирать и по любой из описывающих его характеристик, и по сочетанию таких характеристик, и по некоторым характеристикам, связанным так, как это задано в вопросе.

Простейшие логические связи имеются между теми характеристиками элемента информации, которые совместно описывают некоторое явление, процесс и т. п., если описаний таких явлений или процессов содержится в элементе информации несколько (см. стр. 10). Можно сказать, что эти связи просто отмечают тот факт, что характеристики, совместно описывающие некоторое явление, образуют отдельное предложение. От записи таких связей легко избавиться, если раздробить элемент информации на несколько элементов, содержащих уже только по одному такому предложению. Однако при таком раздроблении элемента информации произойдет дублирование характеристик, не входивших ни в одно предложение (например, библиографических) или входивших в несколько предложений. Возможность такого раздробления предполагает, конечно, что задаваемые вопросы не содержат больше одного предложения, что обычно и выполняется. Чтобы избежать раздробления, связь между характеристиками из каждого предложения может быть отражена соответствующим расположением кодовых обозначений характеристик на кадрах носителя или добавлением к этим обозначениям специальных символов внутренней логической связи.

Более сложные логические связи могут иметь место уже среди характеристик из одного предложения. Они соответствуют в большой степени обычным связям между членами предложения, например, могут отражать связи между подлежащим и различными дополнениями или между определением и определяемым словом и т. д. Так, может потребоваться отразить, что в некотором элементе информации характеристики: «разрушение», «микробы», «лейкоциты» означают «разрушение лейкоцитов микробами», а не наоборот, или что в описываемой реакции такое-то вещество является продуктом, а такое-то — катализатором и т. п.

После выявления и стандартизации всех возможных логических связей такого вида для их обозначения могут быть разра-



ботаны специальные символы, которые можно будет добавлять к кодовым обозначениям характеристик при записи содержания как элементов информации, так и задаваемых вопросов. Отнесение связей между характеристиками как элемента информации, так и вопроса к тому или иному стандартному виду должно производиться вполне однозначно с помощью грамматики информационного языка. Для записи связей может быть использована и возможность расположения кодовых обозначений характеристик на кадрах носителя в различном порядке.

Заметим, что, вообще говоря, отражение внутренних логических связей менее важно, чем отражение общих связей между характеристиками, так как при игнорировании первых все нужные элементы информации все равно будут найдены, но с приращением большего или меньшего числа ненужных элементов, а при игнорировании вторых будет найдена только часть нужных элементов информации. Отсев ненужных элементов информации из отобранных может быть произведен уже с помощью обычного просмотра содержания последних.

Остается сказать несколько слов о технике анализа содержания элементов информации и задаваемых вопросов. Анализ может производиться в два этапа. На первом этапе специалист, знакомый с соответствующим разделом сведений, подчеркивает или выписывает непосредственно выделяемые предметные характеристики и устанавливает, если это необходимо, тип логической связи между последними. На втором этапе менее квалифицированный специалист-кодировщик, пользуясь словарем и грамматикой информационного языка, выписывает первичные кодовые обозначения, имеющиеся в словаре и грамматике, как для выделенных на первом этапе предметных характеристик, так и для всех дополнительных предметных характеристик и библиографических характеристик, а также добавляет к этим обозначениям символы внутренней логической связи.

Первичные кодовые обозначения, однозначно соответствующие каждой характеристике, и являются собственно словами информационного языка, а символы внутренней логической связи играют роль падежных окончаний обычного языка. В отличие от обычного языка, слова информационного языка менее разнообразны, более стандартизованы, обычно не имеют синонимов, можно сказать, не имеют рода, числа, падежа и других форм, но зато в большей степени отражают связи взаимоисключаемости, сходства и соподчиненности. Грамматика информационного языка беднее, чем у обычного языка, но зато гораздо строже.

Первичные кодовые обозначения, называемые в дальнейшем индексами, и символы внутренней логической связи представляют собой упорядоченные последовательности написанных в

одну строчку первичных кодовых символов — букв, цифр, слогов и т. п. Место, на котором стоит в индексе «г-тый», начиная слева, первичный кодовый символ, будем называть «г-тым» разрядом. Число всех возможных первичных кодовых символов, могущих стоять в «г-том» разряде в каких-либо индексах, увеличенное на единицу, если отсутствие символа никак не обозначается, обозначим через  $q_g$ . Индексы могут быть, в частности, и словами обычного языка, взятыми в определенной форме (например, в единственном числе, именительном падеже и т. д.). Очевидно, что наиболее ценным оказался бы единый международный информационный язык.

Работа кодировщика, таким образом, аналогична работе переводчика с одного языка на другой. Учитывая стройность и строгость информационного языка, её гораздо легче механизировать путём создания переводящей машины, чем работу по переводу с одного обычного языка на другой. Ещё легче поддается механизации работа по переводу первичных кодовых обозначений во вторичные кодовые обозначения, которые и записываются в форме, доступной для восприятия машиной, на носителе. Последняя работа и называется, собственно, кодированием, к рассмотрению которого мы сейчас и перейдем, тогда как нахождение первичных кодовых обозначений-индексов обычно называется индексированием.

\* \* \*

## § 6. КОДИРОВАНИЕ

Для того чтобы первичные кодовые обозначения-индексы характеристик могли восприниматься машиной, необходимо перевести их во вторичные кодовые обозначения. Последние состоят из набора кодовых символов, имеющих вид вырезов, пробивок, намагниченных участков, темных или прозрачных квадратиков и т. п., расположенных на кадрах носителя, соответствующих элементам информации  $e_k$ , в случае соответствия  $e_k \rightarrow p_k$ , или представленных кусками носителя, образующими своеобразный регистр, в случае соответствия  $p_n \rightarrow E_n$  или непосредственного соответствия между  $e_k$  и  $p_n$  (стр. 15).

Вторичные кодовые обозначения индексов характеристик вопроса помещаются в запоминающем устройстве и состоят поэтому, вообще говоря, из других кодовых символов. Последними могут быть, например, помеченные или непомеченные ячейки разграфленного листа бумаги, если последний является простейшим запоминающим устройством, приподнятые или опущенные стержни, замкнутые или разомкнутые контакты и т. п. Общим для всех кодовых символов является то, что за кодовый символ носителя принимается одно из двух возможных местных состояний носителя, а за кодовый символ запоминающего устройства — одно из двух возможных местных состояний запоминающего устройства. Использование кодовых символов такого вида адекватно использованию двоичной системы счисления в современных вычислительных машинах и вызвано теми же соображениями. Мы не будем останавливаться поэтому на представлении символов в виде того или иного состояния из нескольких (больше двух) местных состояний или, тем более, в виде каких-либо фигур, линий, обычных букв и цифр.

То из двух состояний носителя, которое принято за кодовый символ, мы будем обозначать цифрой 1, а другое — цифрой 0. Для запоминающего устройства будем иметь соответственно 1 и 0. Состояние носителя и запоминающего устройства, свобод-

ных от вторичных кодовых обозначений, характеризуется во всех местах цифрой 0 и 0 соответственно. Это является частным случаем того положения, что индексы и на носителе и в запоминающем устройстве кодируются одинаково в отношении расположения кодовых символов 1 и 1, хотя в качестве последних и могут быть выбраны противоположные состояния, например, темные и прозрачные квадратик.

Рассматривая ниже вопросы кодирования, общие для всех форм реализации вторичных кодовых обозначений, мы будем иметь дело просто с индексами, игнорируя внутренние логические связи, поскольку последние для многих задач вообще отсутствуют. Уточнение кодирования при учете этих связей без особого труда может быть сделано как путем включения в индексы символов внутренних логических связей, так и введением дополнительных ограничений на порядок расположения вторичных кодовых обозначений.

Любой индекс однозначно представляется на кадре носителя (или регистре) и в запоминающем устройстве, во-первых, конфигурацией кодовых символов внутри так называемого поля, отведенного для записи только одного индекса для каждого элемента информации или вопроса, и, во-вторых, местом, где располагается это поле. Таким образом, кодирование индексов производится как бы с помощью двух координат — места и конфигурации.

По роли, которую играет в кодировании место, можно подразделить все возможные коды на суперпозиционный, локальный, локальный и прямой.

Суперпозиционным кодом назовем такой код, когда все поля для отдельных индексов совпадают — накладываются друг на друга. В результате наложения символов, содержащихся в этих полях, образуются паразитные конфигурации символов, соответствующие индексам, на самом деле не содержащимся в элементе информации. Это влечет за собой при поисках отбор лишних, ненужных элементов информации. Хотя при соблюдении некоторых условий процент таких лишних элементов, вычисленный с помощью теории вероятности, и не будет очень велик, тем не менее применять такой код нецелесообразно, так как при тех же условиях он легко может быть заменен другим кодом, не дающим уже лишних элементов информации. Преимуществом суперпозиционного кода является минимальный размер запоминающего устройства и участка кадра (регистра), отводимого под кодовые символы. Кодирование производится, очевидно, только с помощью конфигураций без всякого учета места. Индексы характеристик вопроса также записываются по суперпозиционному коду в одном поле запоминающего устройства. При сравнении

отбираются все те элементы информации, у которых в поле содержится все символы, имеющиеся в поле запоминающего устройства.

**Нелокальным** кодом назовем такой код, где кодирование также производится без всякого учета месторасположения полей, отводимых уже строго для отдельных индексов каждого элемента информации. Поля на кадре (регистре) располагаются в произвольном порядке, лишь бы только их можно было последовательно просматривать при сравнении. Индексы характеристик вопроса также записываются по нелокальному коду в отдельных полях запоминающего устройства. Сравнение на совпадение конфигураций производится для каждой пары индексов, один из которых берется из поля кадра, а другой — из поля запоминающего устройства. При сравнении отбираются все те элементы информации, у которых в полях кадра содержатся все или некоторое заданное число индексов, записанных в полях запоминающего устройства. Число попарных сравнений равно, очевидно, произведению числа индексов кадра и запоминающего устройства. При наличии нескольких сравниваемых устройств некоторые попарные сравнения могут производиться одновременно, например, с каждым индексом кадра могут одновременно сравниваться все индексы запоминающего устройства и т. п.

Сокращение числа попарных сравнений и упрощение сравниваемого устройства может быть достигнуто при использовании **нелокального упорядоченного** кода, являющегося переходным кодом между нелокальным и локальным. В этом коде индексы и кадра, и запоминающего устройства располагаются в одинаковом лексикографическом порядке, например, в алфавитном, если индексы являются словами, или в убывающем или возрастающем порядке, если индексы — числа. При таком расположении для выяснения вхождения всех индексов вопроса в индексы элемента информации достаточно сравнивать вплоть до совпадения сначала первый индекс из запоминающего устройства с первым, вторым и т. д. индексами кадра, затем второй индекс из запоминающего устройства с последующими индексами кадра, затем, после нового совпадения, третий индекс и т. д. Несмотря на простоту сравнения (последовательно просматривается небольшое число пар индексов), такой код обладает существенными недостатками по сравнению с обычным нелокальным кодом. Во-первых, здесь уже нельзя выбирать элементы информации, содержащие только часть заданных индексов, например, любые четыре индекса из пяти или по одному индексу из каждой группы вопросных индексов (см. стр. 23), тогда как такая постановка задачи часто представляет интерес. Во-вторых, располагая индексы в лексикографическом порядке,

мы лишаемся возможности использовать порядок для отражения внутренних логических связей.

Нелокальный код является не только самым гибким, но для большинства задач и наиболее компактным кодом, так как в отличие от локального и прямого кода, к рассмотрению которых мы сейчас переходим, при его использовании записываются — занимают место на кадре — только те индексы, которые присвоены данному элементу информации.

**Локальным** кодом назовем такой код, при котором каждый индекс из всех возможных индексов определяется и месторасположением поля, и конфигурацией символов внутри поля. Так как в любом поле может быть записан без суперпозиции только один индекс для каждого элемента информации или вопроса, то локальный код применяется только в том случае, если все множество характеристик  $P$  распадается на не очень большое число групп взаимноисключаемых характеристик (см. стр. 21). Кадр носителя (регистра) и запоминающее устройство подразделяется в этом случае на столько полей, сколько существует таких групп. Точнее — каждой группе взаимно однозначно соответствует поле. Конфигурация символов в некотором поле определяет уже сам индекс характеристики из соответствующей группы взаимноисключаемых характеристик или отсутствие индекса из этой группы для рассматриваемого элемента информации или вопроса.

Если характеристики из некоторой группы не обладают строгой взаимноисключаемостью, т. е. в редких случаях некоторые элементы информации могут содержать несколько характеристик из этой группы (например, несколько авторов), то можно избежать суперпозиции, продолжая в то же время пользоваться тем же кодом, если раздробить такие элементы информации на несколько элементов, содержащих уже только по одной характеристике из этой группы. Применять такое дублирование элементов информации надо осторожно, так как число последних может сильно возрасти. Например, из одного элемента информации, имеющего  $m_1, m_2, \dots, m_s$  характеристик из каких-либо  $s$  групп не строго взаимноисключаемых характеристик, получается уже  $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_s$  раздробленных элементов. Кроме того, такое раздробление возможно только при выполнении предположения, что задаваемые вопросы наверняка не содержат взаимноисключаемых характеристик.

Выгоднее всего применять локальный код в том случае, когда элементы информации содержат, как правило, характеристики почти из каждой группы. Тогда на кадрах носителя почти не остается незанятых полей. Поля могут быть сделаны меньшими по своим размерам, чем при нелокальном коде, так как индексы характеристик оказываются уже частично закодированными с помощью надлежащего расположения полей. Сравнение индек-

сов кадра (регистра) с индексами запоминающего устройства, которые записываются также по локальному коду, осуществляется проще, чем в случае нелокального кода. Для того чтобы отобрать элементы информации, содержащие все индексы вопроса, достаточно сравнить на совпадение конфигурации символов из всех тех полей запоминающего устройства, в которых индексы заданы, с конфигурациями символов, находящихся в тех же полях кадра или регистра. Совокупность таких полей можно при этом рассматривать как одно общее поле, и, следовательно, сравнение может производиться за один этап.

Прямой код является частным случаем локального кода когда каждый индекс определяется только месторасположением поля, в котором символы имеют только две простейших конфигурации для обозначения присутствия или отсутствия индекса в элементе информации или вопросе. Хотя размер каждого поля в этом случае минимален, однако, поскольку число полей кадра (регистра) и запоминающего устройства равно числу всех возможных индексов, то прямой код можно применять только при не очень большом числе последних. Все характеристики могут быть при этом непротиворечивыми. Прямой код выгоден в том случае, когда элементы информации содержат помногу характеристик из сравнительно неограниченного (порядка  $10^3$ ) множества  $P$ . Отмечая присутствие индекса в кадре или запоминающем устройстве наличием символа (например, пробивки) в соответствующем поле, а отсутствие индекса — отсутствием символа, можно упростить сравнение индексов кадра с индексами запоминающего устройства. В этом случае, как и в случае суперпозиционного кода, при сравнении отбрасываются все те элементы информации, у которых во всех полях кадра содержатся все символы, имеющиеся во всех полях запоминающего устройства. Совокупность всех полей рассматривается как одно общее поле, что позволяет производить сравнение за один этап. Недостатком прямого кода является, кроме необходимости резервировать место на кадре для отсутствующих индексов, также и невозможность учета внутренних логических связей.

Все описанные выше коды могут применяться и одновременно. Так, на кадре (регистра) и в запоминающем устройстве может быть несколько зон для нелокального кода, зона для локального кода и зона для прямого кода. Суперпозиционный код, как уже говорилось выше, применять нежелательно.

Кодирование индексов с помощью конфигураций символов рассмотрим сначала для нелокального кода — кода, свободного от влияния месторасположения поля, а затем распространим полученные результаты и на другие коды.

Ввиду того, что в самом написании индексов могут быть отражены общие связи между характеристиками (см. стр. 22),

и, учитывая необходимость облегчить кодирование и декодирование индексов, целесообразно кодировать индексы поразрядно. Для этого все поле, отводимое для индекса на кадре носителя (регистра) и в запоминающем устройстве разбивается на участки, число которых равно максимальному числу разрядов, которое могут иметь индексы. Между участками и разрядами устанавливается взаимно однозначное соответствие. Затем каждый участок разбивается на ячейки, в каждой из которых может быть нанесен кодовый символ.

Если поле является регистром, то ячейки взаимно однозначно соответствуют кускам носителя. Число ячеек  $g_r$  в «г-том» участке, соответствующем «г-тому» разряду, зависит от  $q_r$  (стр. 27). Здесь могут представиться две возможности, значительно влияющие на сложность сравнивающего устройства.

Если любой из первичных кодовых символов изображается всегда одинаковым для своего разряда числом кодовых символов (вторичных)  $\gamma_r$ , то такой код называется селективным.

В этом случае  $g_r$ ,  $\gamma_r$  и  $q_r$  связаны соотношением  $C_{g_r}^{\gamma_r} \geq q_r$ .

Чтобы  $g_r$  было минимальным,  $\gamma_r$  должно быть равно  $\frac{g_r}{2}$ , если

$g_r$  — четное, и  $\left\lfloor \frac{g_r}{2} \right\rfloor$  или  $\left\lceil \frac{g_r}{2} \right\rceil + 1$ , если  $g_r$  — нечетное.

Если первичные кодовые символы могут изображаться разным числом кодовых символов, то имеем так называемый двоичный код. Он требует меньшего числа ячеек  $g_r$ , так как могут быть использованы все возможные комбинации кодовых символов на участке, т. е. должно быть  $2^{g_r} \geq q_r$ .

В случае локального кода несколько первых разрядов индексов, указывающих на принадлежность индексов к той или иной группе взаимноисключаемых индексов характеристик, кодируются надлежащим расположением поля. Остальные разряды кодируются в участках определенного поля так же, как и в случае нелокального кода, или, если индексов в группе немного, то каждому индексу ставится во взаимно однозначное соответствие определенная совокупность кодовых символов в ячейках поля, не сгруппированных в участки.

В случае прямого кода индексы кодируются не поразрядно, а непосредственно с помощью установления взаимно однозначного соответствия между ними и местами расположения полей, состоящих в случае селективного кода из двух ячеек, а в случае двоичного кода — из одной ячейки. Наличие или отсутствие индекса соответствует расположению кодового символа в той или иной ячейке или наличие или отсутствие символа в единственной ячейке.

Как следует из вышесказанного, для каждого элемента информации (в отдельности или для всех одновременно) процесс сравнения состоит из одного или нескольких попарных сопоставлений полей кадра и полей запоминающего устройства, имеющих одинаковое число ячеек. Сравнение обоих полей ведется по всем ячейкам, причем, в случае прямого селекторного, нелокального и локального кода — на совпадение символов в одноименных ячейках (т. е. символы или имеются в обеих ячейках, или отсутствуют), а в случае прямого двоичного кода и суперпозиционного кода — на включение (т. е. во всех ячейках поля кадра, одноименных с имеющими символы ячейками поля запоминающего устройства, должны быть символы).

Принципиально не представляет труда осуществить последовательное сравнение одноименных ячеек. Сравняющее устройство должно посылать сигнал несовпадения в выбирающее устройство при обнаружении символа только: а) в одной из двух каких-либо одноименных ячеек, безразлично в какой именно, при сравнении на совпадение или б) в ячейке поля запоминающего устройства при сравнении на включение. Однако последовательное сравнение одноименных ячеек может быть применено, главным образом, только в машинах параллельного действия (см. стр. 16), так как отнимает слишком много времени при последовательном просмотре элементов информации.

Параллельное сравнение одноименных ячеек может быть осуществлено при наличии многих сравнивающих устройств, число которых равно числу ячеек поля, однако это может сильно усложнить машину. Более просто это может быть сделано с помощью надлежащего выбора кодовых символов.

Рассмотрим сначала сравнение на включение. Сформулируем предварительно более точно условия такого сравнения. Идентифицировав одноименные ячейки из сравниваемых полей (поля кадра и поля запоминающего устройства), обозначим через  $M$  получившееся множество ячеек, а через  $M_1$ ,  $M_1$ ,  $M_0$ ,  $M_0$  — следующие подмножества этого множества.  $M_1$  и  $M_1$  состоят из ячеек, имеющих кодовые символы на кадре и в запоминающем устройстве, соответственно, а  $M_0$  и  $M_0$  — из ячеек, не содержащих кодовых символов. Очевидно, имеем:

$$\begin{aligned} M_1 \cap M_0 &= M_1 \cap M_0 = 0; \\ M_1 \cup M_0 &= M_1 \cup M_0 = M; \end{aligned} \quad (*)$$

Для того чтобы сравнение на включение давало положительный ответ, должно выполняться любое из следующих трех эквивалентных, как это следует из (\*), соотношений:

$$M_1 \subset M_1; M_0 \subset M_0; M_0 \cap M_1 = 0. \quad (**)$$

Это можно проиллюстрировать, выписав соответствующие ячейкам из  $M$  пары символов, верхний из которых описывает состояние ячейки на кадре, а нижний — в запоминающем устройстве. Так, например, для пар символов:

1 0 1 1 1  
0 0 1 0 1

соотношения (\*\*) выполняются, а для пар символов:

1 0 1 1 1  
0 1 0 0 1

— не выполняются. Заметим, что, если последовательность пар символов, соответствующих ячейкам, упорядочена, то верхний ряд символов можно иногда рассматривать как вторичное кодовое обозначение индекса кадра, а нижний — индекса запоминающего устройства.

Воспользовавшись указанной выше символической записью, сформулируем требование, эквивалентное соотношениям (\*\*): включение имеет место в том и только в том случае, если ни одна ячейка не описывается парой 0·1, т. е. могут встречаться только остальные три возможных пары символов 1·1, 0·0 и 1·0.

При последовательном сравнении одноименных ячеек, т. е. при последовательном просмотре пар символов, как уже говорилось выше, не представляет труда создать более или менее сложное сравнивающее устройство, отмечающее наличие пары 0·1, какие бы местные состояния носителя и запоминающего устройства мы ни выбрали бы в качестве кодовых символов 1 и 1. При этом, однако, может потребоваться трансформация некоторых местных состояний носителя и запоминающего устройства внутри сравнивающего устройства. Применение такой трансформации сразу для всех ячеек при параллельном сравнении последних может очень сильно усложнить сравнивающее устройство — фактически повторить его для каждой ячейки. Поэтому при параллельном сравнении и приходится обычно выбирать местные состояния в качестве кодовых символов вполне определенным образом — как иногда говорят, инверсно или по принципу взаимодополняющих комбинаций.

Рассмотрим, например, случай, когда за местные состояния и носителя, и запоминающего устройства, являющегося в этом случае шаблоном, приняты темные и прозрачные квадратик, а за два состояния (1 и 0), отмечающие результат сравнения, принято прохождение или непрохождение света через наложен-

ные друг на друга сравниваемые поля. Тогда на основании вышеизложенного мы можем в символическом виде записать, что включение (0) имеет место, если в ячейках наложенных полей

$$1 \cdot \bar{1} = 0 \cdot \bar{0} = 1 \cdot \bar{0} = 0,$$

и включения нет (1), если хотя бы в одной ячейке

$$0 \cdot \bar{1} = 1.$$

Легко убедиться, что за состояние 1 может быть выбрано только прохождение света, что влечет за собой выбор в качестве кодового символа 1 — темного квадрата, а в качестве  $\bar{1}$  — прозрачного квадрата. Прохождение света (наличие сигнала несовпадения) может быть зарегистрировано (например, с помощью фотозлемента) независимо от местонахождения двух совпавших прозрачных квадратов и числа таких совпавших пар, что и позволяет вести параллельное сравнение ячеек с помощью только одного регистрирующего элемента.

Аналогично выбираются кодовые символы и в том случае, когда на носителе местными состояниями могут быть пробитые или непробитые ячейки, пропускающие или не пропускающие электрический ток с контактного валика на щетки, а в запоминающем устройстве замкнутые или разомкнутые контакты, открывающие или закрывающие путь току со щеток к источнику питания. Роль света здесь играет ток, и поэтому за состояние 1 выбирается наличие тока в цепях сравнения, за  $\bar{1}$  — непробитая ячейка, а за  $\bar{1}$  — замкнутый контакт.

Еще один пример выбора кодовых символов в соответствии с указанными выше условиями встретится в следующем параграфе.

Рассмотрим теперь сравнение на совпадение. Для того чтобы совпадение имело место, должно выполняться вместо (\*\*) любое из следующих эквивалентных соотношений:

$$M_1 = M_{\bar{1}}; M_0 = M_{\bar{0}}; M_0 \cap M_{\bar{1}} = M_{\bar{1}} \cap M_0 = 0. \quad (***)$$

Последнее соотношение может быть получено и как следствие того факта, что равенство двух множеств эквивалентно взаимному включению их друг в друга (например,  $M_1 = M_{\bar{1}}$  эквивалентно совокупности  $M_1 \subset M_{\bar{1}}, M_{\bar{1}} \subset M_1$ ).

Воспользовавшись символической записью, можно сказать, что совпадение имеет место в том и только в том случае, если ни одна ячейка не описывается парами  $0 + \bar{1}$  и  $1 + \bar{0}$ .

На простейших устройствах, у которых носитель и запоминающее устройство имеют в точности только по два различных

местных состояния, такое сравнение проводить не удастся. Потребная для него трансформация некоторых местных состояний внутри сравнивающего устройства приводит в случае параллельного сравнения к усложнению этого устройства. В § 8 будут приведены некоторые примеры такой трансформации, а сейчас остается только отметить один частный и очень важный случай, когда сравнение на совпадение может быть заменено сравнением на включение.

Сравнение на совпадение, как было указано выше, ведется в случае прямого селекторного, нелокального и локального кодов. Оказывается, что в случае прямого, нелокального и локального селекторных кодов его можно заменить сравнением на включение, так как, кроме соотношений (\*\*\*), мы имеем тогда всегда выполняющееся соотношение  $|M_1| = |M_{\bar{1}}|$ , где  $|M_1|$  и  $|M_{\bar{1}}|$  — числа элементов из соответствующих множеств. Нетрудно показать, что эти соотношения, взятые вместе, эквивалентны (\*\*) или любому из соотношений:

$$M_1 \subset M_{\bar{1}}; M_{\bar{0}} \subset M_0; M_1 \cap M_{\bar{0}} = 0, \quad (****)$$

Таким образом, для нелокального и локального селекторных кодов сравнивающее устройство может быть сильно упрощено, что иногда заставляет отказаться от применения более компактных нелокального и локального двоичных кодов.

В заключение отметим, что сравнение полей может производиться за один этап (параллельное сравнение всех одноименных ячеек), однако иногда из конструктивных соображений оно производится за несколько этапов, на каждом из которых сравниваются только одноименные части полей, хотя такое сравнение и ведет в некоторых случаях, с другой стороны, к некоторому усложнению сравнивающего устройства — введению некоторых элементов для устранения обходных цепей. Связь между кодами и различными устройствами, механизмирующими информационные поиски, будет рассмотрена более подробно при описании примеров таких устройств, к которому мы сейчас переходим.

## § 7. УСТРОЙСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Простейшим и наиболее распространенным устройством параллельного действия являются перфокарты с вырезками по краям. Каждому элементу информации  $e_k$  ставится в соответствие одна перфокарта, вырезки на которой изображают множество характеристик  $P_k$ , т. е. здесь имеем соответствие  $e_k \rightarrow P_k$ . Середина перфокарты отводится для записи содержания элемента информации в удобочитаемой форме — от руки, на пишущей машинке, в напечатанном виде, микрошрифтом или в виде вставленного кадра микрофильма. По краям перфокарты в один или несколько рядов (до четырех) располагаются ячейки, в которых могут находиться вырезки. Часть ячеек образует обычно зону для прямого двоичного кода. Остальные ячейки, отводящиеся для локального двоичного или селекторного кода, группируются в участки и поля. Нелокальный код обычно не применяется, так как многократное сравнение полей перфокарты и запоминающего устройства потребовало бы здесь большой затраты времени в силу недостаточности кода, хотя и нежелательно ввиду отбора при поисках лишних карт, но облегчено здесь возможностью уточнения поисков непосредственно по полным описаниям элементов информации.

В зависимости от конструкции сравнивающего устройства различают две разновидности описываемых перфокарт. Более ранняя и простая разновидность, известная еще с 1896 года, представляет собой обычные карты из плотной бумаги, несколько больших размеров, чем стандартные библиотечные карточки. Ячейки располагаются на таких картах вдоль краев только в один ряд. Общее число ячеек равно в среднем нескольким десяткам. Вырезки в ячейках производятся от края в направлении к середине карты на расстояние, равное примерно одному сантиметру, и имеют вид полуовала (рис. 1).

За кодовые символы  $I$  принимаются вырезанные ячейки, а в сравнивающем устройстве, являющемся одновременно и запоминающим устройством, кодовым символам  $I$  соответствуют стержни,

приподнятые примерно на один сантиметр над плоскостью стола. Так как стержни (приподнятые и неприподнятые) взаимно однозначно соответствуют ячейкам карт и находятся на таком

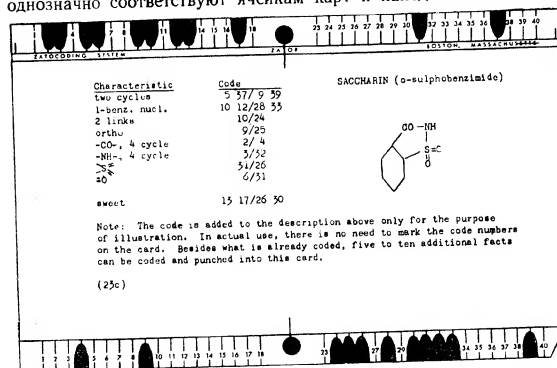


Рис. 1

же расстоянии друг от друга, как и ячейки, то сравнение в случае и суперпозиционного, и прямого, и селекторного локального кода производится следующим образом. Пачку карт, расположенных в произвольном порядке, но так, чтобы одноименные стороны совпадали, кладут торцом на стержни, соответствующие просматриваемой стороне карт, и слегка трясут, следя в то же время за тем, чтобы карты не разрезались в горизонтальном направлении, перпендикулярном к направлению стержней. Очевидно, все карты, имеющие на этой стороне нужные вырезки (находящиеся во всех ячейках, соответствующих приподнятым стержням), опустятся вниз примерно на один сантиметр. Ненужные карты полностью не опустятся, так как какой-либо приподнятый стержень встретится ( $I$ ) с невырезанной ячейкой ( $M_0 \cap M_1 \neq 0$ , т. е.  $0 \cdot I = 1$ ) /см. § 6/. Отделив ненужные карты, например, с помощью продевания спицы через специальное отверстие, расположенное посередине каждой стороны карты, и повторяя описанный процесс для других сторон отобранных карт, мы, очевидно, и найдем все карты, соответствующие искомым элементам информации (и только такие карты, если код не суперпозиционный).

В случае двоичного локального кода некоторые из отобранных указанным способом карт могут иметь лишние вырезки,

то-есть быть ненужными. Так как мы не можем в случае параллельного сравнения ячеек непосредственно проверить выполнение условия  $M_i = M_j$ , то для исключения таких ненужных карт приходится последовательно сравнивать ячейки из  $M_5$  с одним приподнятым стержнем. Очевидно, что ненужными окажутся все те карты, которые хотя бы один раз опустятся вниз при таком сравнении, т. е. при установке карт на приподнятый стержень какой-либо ячейкой из  $M_5$ . Так как число ячеек  $M_5$  в среднем равно числу ячеек из  $M_j$ , то в случае двоичного локального кода вообще целесообразней вести только последовательное сравнение ячеек с одним приподнятым стержнем. При этом очевидно, что карты, не опустившиеся при установке на стержень ячейкой из  $M_j$ , будут ненужными. Последовательное сравнение ячеек применяется и для других кодов, так как вместо довольно громоздкого сравнивающего устройства можно ограничиться только одним стержнем. Запоминающим устройством будет в этом случае просто лист бумаги с записанными на нем названиями ячеек из  $M_j$ .

Если бы мы захотели воспользоваться нелокальным кодом, то при поисках нам пришлось бы сначала отобрать все карты, имеющие в каком-либо из полей первую характеристику вопроса, затем из отобранных карт отобрать те, которые имеют в каком-либо из полей вторую характеристику вопроса и т. д. Общее число сравнений равнялось бы при этом произведению числа полей и числа характеристик вопроса из зоны нелокального кода. Каждое сравнение производилось бы, как и раньше, или последовательно для каждой ячейки поля с помощью одного стержня, или параллельно (если код селекторный) с помощью набора стержней.

Вторая разновидность перфокарт, ставшая применяться с 1925 года, отличается от первой только тем, что в том конце каждой ячейки, который расположен дальше от края карты, пробита дырочка, а сами ячейки могут располагаться вдоль краев карты в несколько рядов (рис. 2). Общее число ячеек может достигать здесь уже двухсот, а в некоторых случаях даже четырехсот. Вырезки в ячейках представляют собой продолговатые овальные отверстия, идущие от дырочки вырезаемой ячейки до следующей, более близкой к краю карты дырочки, или прямо к краю, если ячейка находится в наружном ряду. Сравнивающее устройство состоит, как и в предыдущем случае, из одного или нескольких стержней — спиц (рис. 3, 4), которые теперь приподнимаются над плоскостью стола после того, как их проденут через отверстия соответствующих ячеек (ячеек из  $M_j$  в случае суперпозиционного, прямого и селекторного локального кода или последовательно через отверстие каждой ячейки в случае двоичного локального кода). Аналогично предыдущему, после

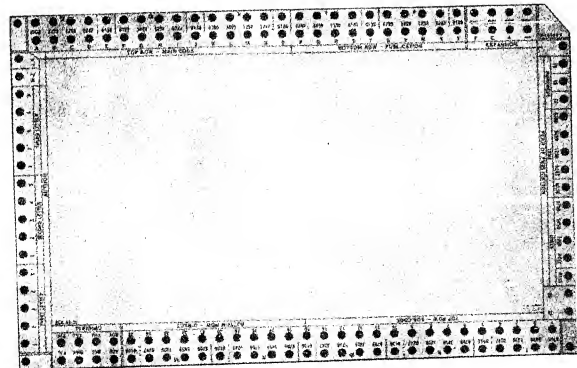


Рис. 2

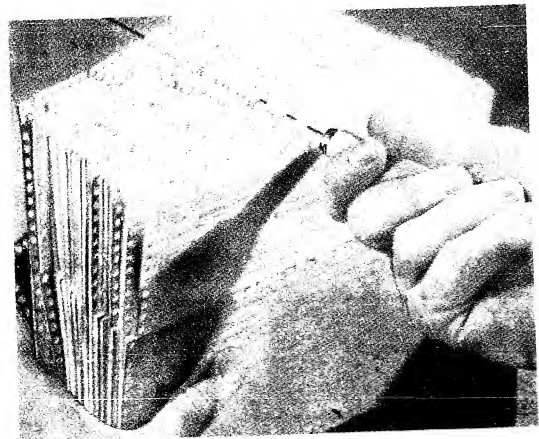


Рис. 3



поднятия спиц, часть карточек опускается на длину вырезки или даже падает на стол, а другая часть не смещается относительно спиц в вертикальном направлении. Этим и достигается отделение нужных карт от ненужных. Сравнение с одним стержнем производится для каждой ячейки со скоростью 1 000—1 500 карт

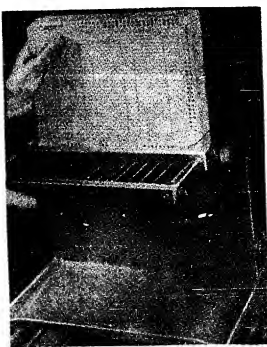


Рис. 4а

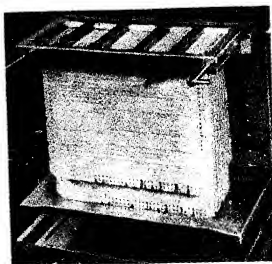


Рис. 4б

в минуту. При сравнении с набором стержней скорость просмотра карт значительно увеличивается.

Особый случай такой разновидности перфокарт представляют перфокарты, у которых ячейки с дырочками расположены не вдоль краев, а почти по всей карте (рис. 5). Такое расположение ячеек приводит к уменьшению места, отводимого для записей в обычной форме, но зато позволяет производить выбор за один, а не за четыре этапа, так как все вырезки направлены к одному верхнему краю карты.

Обе описанных выше разновидности перфокарт являются устройствами параллельного действия, так как в процессе сравнения участвует сразу много перфокарт. Однако так как запись соответствия между  $e_k$  и  $p_n$  берется в виде  $e_k \rightarrow p_k$ , то обычный для устройств параллельного действия способ нахождения  $E^*$  в виде пересечения  $E_n$ , соответствующих  $p_n \in P^*$ , наглядно выступает здесь только при последовательном сравнении ячеек. Действительно, при каждом сравнении с одним стержнем (спицей) какой-либо ячейки из зоны прямого кода или после нескольких сравнений по ячейкам из какого-либо поля из зоны локального кода мы выбрасываем ненужные карты, не содержащие заданной характеристики.

NAME	SUBJECTS	REL. NO.
PRESENT ADDRESS		REL. NO.
PREVIOUS ADDRESS	POSITION DESIRED	
PRESENT POSITION		SALARY
AGE	EXPERIENCE	CORRESP.
SALARY ACCEPTABLE		
LOCATION		
English	Mathematics	Psychology
11	11	11
12	12	12
13	13	13
14	14	14
15	15	15
16	16	16
17	17	17
18	18	18
19	19	19
20	20	20
21	21	21
22	22	22
23	23	23
24	24	24
25	25	25
26	26	26
27	27	27
28	28	28
29	29	29
30	30	30
31	31	31
32	32	32
33	33	33
34	34	34
35	35	35
36	36	36
37	37	37
38	38	38
39	39	39
40	40	40
41	41	41
42	42	42
43	43	43
44	44	44
45	45	45
46	46	46
47	47	47
48	48	48
49	49	49
50	50	50
51	51	51
52	52	52
53	53	53
54	54	54
55	55	55
56	56	56
57	57	57
58	58	58
59	59	59
60	60	60
61	61	61
62	62	62
63	63	63
64	64	64
65	65	65
66	66	66
67	67	67
68	68	68
69	69	69
70	70	70
71	71	71
72	72	72
73	73	73
74	74	74
75	75	75
76	76	76
77	77	77
78	78	78
79	79	79
80	80	80
81	81	81
82	82	82
83	83	83
84	84	84
85	85	85
86	86	86
87	87	87
88	88	88
89	89	89
90	90	90
91	91	91
92	92	92
93	93	93
94	94	94
95	95	95
96	96	96
97	97	97
98	98	98
99	99	99
100	100	100

Рис. 5

Оставшиеся карты, после выбрасывания всех ненужных карт, (стр. 17) и образуют  $E^* = E_{n_1} \cap E_{n_2} \cap \dots \cap E_{n_k} = \bar{E}_{n_1} \cup \bar{E}_{n_2} \cup \dots \cup \bar{E}_{n_k}$ . При параллельном сравнении ячеек с набором стержней можно считать, что  $E^*$  находится скорее, как результат одновременного

сравнения  $P_k$ , соответствующих всем  $e_k$ , с заданным  $P^*$ , т. е. сразу отделяются все карты с  $P_k \supset P^*$ .

Описанное устройство обладает многими свойствами, наличие которых только можно было бы пожелать у идеального устройства, механизмирующего информационные поиски, — оно является устройством параллельного действия, ячейки могут просматриваться параллельно, вывод найденных элементов информации производится параллельно, выводятся полные описания элементов информации и т. п. Однако небольшое число ячеек и недостаточная механизация являются весьма существенными недостатками этого устройства. Они сильно ограничивают число характеристик, могущих описывать элементы информации, затрудняют использование не локального кода и требуют большой затраты времени и ручного труда при поисках среди перфокарт, число которых превышает несколько тысяч. Все это привело к тому, что перфокарты с вырезами по краям получили довольно широкое распространение (за границей) только для решения частных информационных задач отдельными лицами и в небольших учреждениях. Задачи эти могут решаться весьма успешно при небольших (порядка нескольких тысяч) числах элементов информации и несложном информационном языке, если последний достаточно хорошо, с точки зрения пользователя, описывает содержание элементов информации.

За число элементов информации мы здесь и в дальнейшем будем принимать или число всех возможных элементов информации, или среднее число элементов из непересекающихся групп, на которые распадаются все элементы в соответствии со значениями характеристик (или их комбинаций) из некоторой группы (или групп) взаимноисключаемых характеристик, если последняя (последние) существует и характеристики из нее (из них) входят в любой вопрос. К сожалению, такая классификация элементов информации и вопросов по ведущей группе или группам взаимноисключаемых характеристик не всегда имеет место, однако если она существует, то число элементов, просматриваемых при поисках, сильно сокращается.

Среди задач, решавшихся с помощью описанных перфокарт, многие касались поисков литературы по отдельным узким разделам сведений, например, по металлургии, физиологии, фармакологии, зубным болезням, коррозии металлов, соединениям никеля и т. д. Такие поиски производились многими библиотеками, использовавшими перфокарты и для других библиотечных работ. Ряд задач касался отыскания названий и характеристик веществ, болезней и других субстанций по некоторым известным свойствам. Так, например, органические соединения разыскивались по их инфракрасному спектру, химические соединения — по их кристаллографическим свойствам, токсичности и т. п., сплавы —

по их физическим свойствам, некоторые болезни — по их симптомам и условиям возникновения, военнослужащие — по их анкетным данным и т. д. Попытки применять описываемые перфокарты для поисков среди более широких разделов сведений с применением информационного языка, приспособленного не только для индивидуальных потребностей, оказались неэффективными или из-за трудностей создания такого языка, или из-за указанных выше недостатков — малой емкости кода и недостаточной механизации.

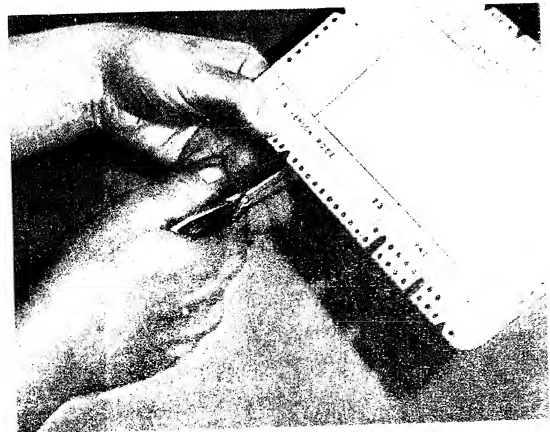


Рис. 6

Почти все эти задачи решались с помощью второй, более совершенной разновидности перфокарт. Такие перфокарты выпускаются за границей многими фирмами вместе с вспомогательным оборудованием: ручными перфораторами — дыроколами (рис. 6), клавишными перфораторами, перфораторами для нанесения одной и той же вырезки сразу на нескольких десятках карт, бумагой для заклейки неправильно пробитых вырезов (рис. 7), подставками в виде угла для выравнивания карт, сортировальными стержнями-спицами, сравнивающими устройствами — наборами спиц для параллельного сравнения и т. д. Пер-

фокарты и оборудование сравнительно недороги и вполне доступны для индивидуального пользования\*.

Второе устройство параллельного действия ещё более просто, чем только что рассмотренное, но менее распространено. Оно также использует перфокарты, на которые наносятся пробивки, но здесь уже перфокарты являются ячейками регистра

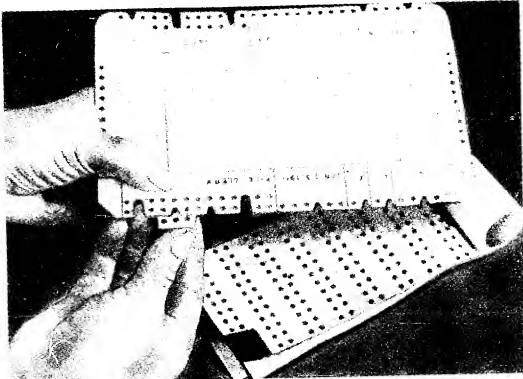


Рис. 7

для записи характеристик  $r_n$ , а пробивки изображают множества элементов информации  $E_n$ , т. е. имеем соответствие  $R_n \rightarrow E_n$ .

Обычно часть перфокарт-ячеек отводится для прямого двоичного кода. В этом случае каждая перфокарта соответствует некоторой  $r_n$ , а пробивки на ней изображают соответствующее  $E_n$ . Пробивки в рассматриваемом устройстве наносятся всегда по прямому двоичному коду, т. е. для каждого  $e_k$  на любой перфокарте зарезервирована одна и та же определенная ячейка.

Остальные перфокарты-ячейки могут быть сгруппированы в участки и поля, отводимые для локального селекторного кода.\*\*

\* Подробное описание перфокарт и вспомогательного оборудования, а также обширная библиография по применению перфокарт содержится в книге R. S. Casey and J. W. Perry. «Punched Cards». New York. 1951. (2-е издание намечалось на 1954 г.)

\*\* В прочитанной автором литературе сообщалось о применении в описываемом устройстве только прямого двоичного кода.

В этом случае каждой  $r_n$  из некоторого поля будет соответствовать уже несколько перфокарт, число которых одинаково для любой  $r_n$ , так как код-селекторный. Пробивки, изображающие соответствующее  $E_n$ , наносятся опять-таки по прямому двоичному коду на всех этих перфокартах. Если последние наложить друг на друга, очевидно, что все пробивки, изображающие это  $E_n$ , будут просвечивать. С другой стороны, так как код селекторный и характеристики из любого поля взаимноисключаемые для каждого элемента информации, то никакая другая пробивка просвечивать не будет. Заметим, что при таком представлении  $r_n$  в виде нескольких перфокарт сохраняется возможность отыскивать элементы информации по значениям только первых разрядов индексов характеристик из некоторого поля. Для этого достаточно наложить друг на друга перфокарты, выбранные не из всего поля, а из соответствующих участков.

Итак, на перфокартах для каждой  $r_n$  из  $R$  изображено пробивками соответствующее  $E_n$ . Очевидно, что, выбрав перфокарты и группы перфокарт, соответствующие всем  $r_n$  из  $R^*$ , и наложив их друг на друга, мы найдем  $E^*$  в виде совокупности просвечивающих пробивок. Здесь уже совершенно ясно, что  $E^*$  находится как пересечение или, точнее, как дополнение до  $E$  суммы дополнений до  $E$  множеств  $E_n$ , соответствующих  $R_n$  из  $R^*$ .

Суперпозиционный код, при котором поиски ведутся также вышеописанным способом, применять нежелательно, так как устранение лишних  $e_k$  среди отобранных затруднено отсутствием полных описаний содержания элементов информации. Применение локального двоичного и нелокального кодов невозможно, так как оно требует запоминания промежуточных результатов поисков.

Сравнивая оба вышеописанных устройства между собой, можно сказать, что второе устройство обладает следующими двумя преимуществами: во-первых, не ограничено число ячеек для записи характеристик и, во-вторых, поиски могут производиться скорее и проще — не требуется сортирования с помощью стержней. К недостаткам второго устройства по сравнению с первым можно отнести следующее: отыскиваются только номера, а не полные описания  $e_k$ ; перфокарты необходимо после поисков раскладывать на свои места; затруднено использование суперпозиционного кода и невозможно использование нелокального кода; ограничено число ячеек перфокарты, отводимых для пробивок  $e_k$ ; затруднено включение новых  $e_k$ . Среди этих недостатков наиболее существенны первые два, так как суперпозиционным кодом пользоваться вообще нежелательно, нелокальный код обычно не применяется и в первом устройстве, а для увеличения емкости перфокарты можно пользоваться не одной, а несколь-

кими перфокартами, снабженными различными серийными номерами. Перфокарты с одинаковыми серийными номерами, очевидно, сравниваются отдельно от других перфокарт. Новые е, наносятся на набор перфокарт с новым серийным номером. Нанесение на перфокарты с различными серийными номерами можно производить также в соответствии с классификацией по ведущей группе взаимоисключаемых характеристик. Это позволит ограничиться просмотром только нескольких серий перфокарт.

Из этого сравнения вытекает, что описываемые перфокарты, как и первое устройство, могут быть предназначены только для индивидуального или местного пользования в небольших учреждениях для решения частных информационных задач. Это устройство более всего подходит для описания довольно большого числа свойств какого-либо не очень многочисленного класса субстанций — веществ, растений, бактерий и т. п. и последующей идентификации неизвестных субстанций. В цитированной выше (стр. 46) книге R. S. Casey и J. W. Perry имеются упоминания о применении такого устройства для идентификации минералов, руд, патентов и др.

В качестве перфокарт могут быть выбраны обычные перфокарты для счетно-аналитических машин, имеющие 960 ячеек (рис. 8). Пробивки могут наноситься с помощью обычного перфоратора из комплекта счетно-аналитических машин.

Описанные два устройства являются простейшими устройствами параллельного действия. Недостаточная механизация поисков, имеющая место в этих двух устройствах, может быть устранена в других возможных устройствах с тем же принципом действия. Скорость и автоматичность поисков в таких устройствах может быть сделана очень большой, однако применимость последних будет зависеть от сложности и стоимости тех элементов, с помощью которых фиксируются связи между  $e_k$  и  $p_n$  и регистрируются результаты поисков. Следует отметить для сравнения, что вряд ли существует что-либо проще и дешевле, чем вырезки или пробивки на бумаге для фиксации связей и выпадающие перфокарты или просвечивающие пробивки для регистрации результатов поисков. Для иллюстрации сказанного остановимся вкратце только на двух примерах более сложных устройств.

В устройстве типа электрической схемы ячейки регистра для записи  $p_n$  могут быть реализованы в виде входных шин, а  $e_k$  — в виде выходных шин, снабженных реагирующими элементами, например, лампочками. Соответствие между  $p_n$  и  $e_k$  реализуется тогда в виде надлежащей постоянной коммутации входных и выходных шин с помощью промежуточных элементов, служащих для ликвидации обходных цепей. Е\* находится в результате по-

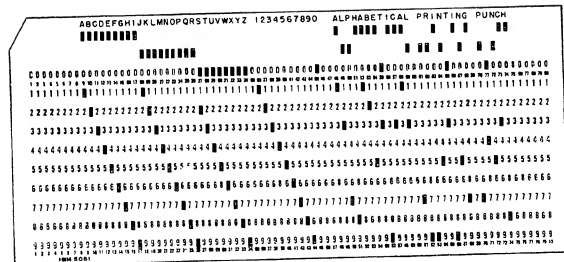


Рис. 8

следовательного или одновременного подключения источника тока к тем входным шинам, которые соответствуют ячейкам из Мг. в виде совокупности реагирующих элементов, оставшихся в исходном состоянии. Подключение к входным шинам может осуществляться автоматически от вопросной перфокарты или непосредственно от клавиатуры. Число реагирующих элементов может быть сделано равным только некоторой части общего числа элементов информации, если просмотр последних вести по таким частям, последовательно подключая соответствующие им выходные шины к реагирующим элементам. Разбиение Е на части, очевидно, выгоднее произвести в соответствии с классификацией. Ввиду большой скорости поисков\* в таком устройстве может быть применен и нелокальный код. Очевидно, что из-за своей сложности такое устройство может быть рекомендовано только для специальных информационных задач, решение которых требует большой скорости, оперативности и удобства работы. Принципиальные схемы подобных устройств получаются без труда, однако применимость последних зависит, как уже говорилось, от сложности и стоимости коммутирующих промежуточных элементов.

Вторым примером более сложного устройства параллельного действия может служить Card Translator (рис. 9), используемый в телефонных междугородных центрах США для отыскания по номеру телефона путей, ведущих к вызываемому абоненту.

\* Один прогон вопросной перфокарты эквивалентен прогону столько карт на устройстве последовательного действия, сколько имеется реагирующих элементов.

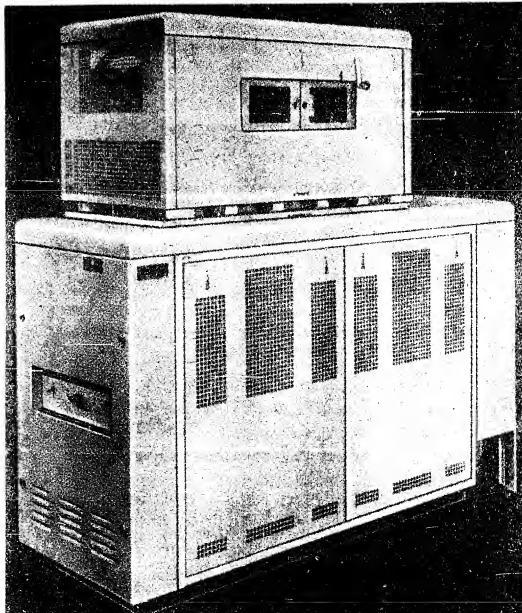


Рис. 9

Как видно из схемы этого устройства (рис. 10), здесь применены, для выбора карты по заданному номеру, карты с вырезками по краям (только по нижнему краю) и опускающиеся стержни. Таким образом, в отличие от первой разновидности перфокарт с вырезками по краям (стр. 38), за кодовые символы 1 принимаются невырезанные ячейки, а за символы 0 — опускающиеся стержни. Для записи на картах и задания номеров используется локальный селекторный код — шестизначное десятичное число записывается в одном поле, состоящем из шести участков, в каждом из которых оставляются невырезанными по две из пяти ячеек ( $q_r=10$ ;  $g_r=5$ ;  $x_r=2$ ;  $C^2_s=10$ ; см. стр. 33). Для

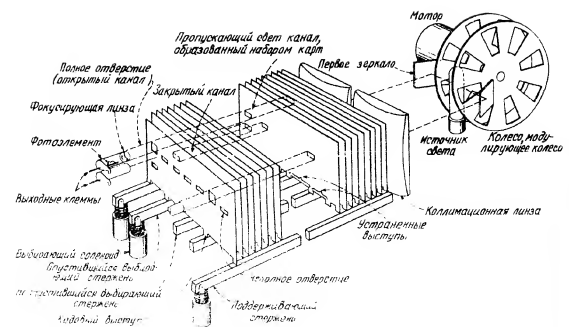


Рис. 10

сравнения на совпадение используются соотношения (\*\*) из § 6, т. е. ненужные карты не опускаются (1), так как для какой-либо ячейки  $1 \cdot 0 = 1$ .

Вывод данных с опускающихся (нужных) карт осуществляется автоматически без дополнительного отделения этих карт от неопускающихся, что исключает необходимость в установке отобранных карт на свои места, как это было в устройстве с накладываемыми картами (стр. 47). Это достигается тем, что все данные — характеристики записываются на карте по прямому двоичному коду в следующем виде. Если характеристика ячейки присвоена карте, то в соответствующей этой характеристике ячейке делается квадратная пробивка, а если не присвоена, то пробивается только нижняя половина ячейки (квадрата). Очевидно, свет пройдет только через полностью пробитые ячейки нужной карты, так как последняя опускается как раз на расстояние, равное половине ребра квадрата.

Описанное устройство может быть, после некоторых изменений, применено для информационных поисков в следующем виде. Отведя для каждой характеристики  $p_n$  одну или несколько карт, как это делалось в устройстве с накладываемыми картами (стр. 46), мы можем автоматизировать с помощью опускающихся или поднимающихся стержней выбор нужных карт и обратную установку их на свои места. Очевидно, не представит большого труда выведение в просматриваемую позицию не одной, а одновременно нескольких карт, соответствующих всем  $p_n$

из заданного  $P^*$ . Это может быть сделано, например, последовательно с временной фиксацией отдельных нужных карт в просматриваемой позиции. Тогда свет пройдет только через те пробивки, изображающие на картах элементы информации  $e_k$  (стр. 47), которые будут общими для всех отобранных карт, т. е. через пробивки, соответствующие  $e_k$  из искомого множества  $E^*$ .

Следует отметить, однако, что такая замена непосредственного наложения отобранных карт сравнением карт, находящихся друг от друга на некотором расстоянии, может привести к значительным техническим трудностям. Эти трудности, как и другие конструктивные особенности Card Translator'a (специальный сплав для изготовления карт, электромагниты для придания картам вполне определенного положения и т. д.) сильно ограничивают применимость описанного устройства для информационных поисков.

\* \* \*

## § 8. ПРОСТЕЙШИЕ УСТРОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Простейшими устройствами последовательного действия являются устройства, последовательно прогоняющие и просматривающие перфокарты (рис. 8), применяемые в счетно-аналитических машинах. Каждая перфокарта соответствует элементу информации  $e_k$ , а пробивки на ней — множеству характеристик  $P_k$ , т. е. здесь, как и вообще в любых устройствах последовательного действия, имеем соответствие  $e_k \rightarrow P_k$ . Для записи индексов характеристик может быть использован любой код, в том числе и наиболее совершенный для большинства задач — не локальный код. Применение последнего не требует здесь дополнительной затраты времени на многократное попарное сравнение полей перфокарты и запоминающего устройства (стр. 30) в силу достаточной механизации процесса сравнения. Суперпозиционный код применять нежелательно по высказанным выше соображениям (стр. 29), а также потому, что не всегда удастся осуществить запись на перфокартах полного содержания сведений из элементов информации или даже только соответствующих характеристик в удобочитаемой форме.

Пробивки на перфокарту могут наноситься с помощью обычного перфоратора (рис. 11) из комплекта счетно-аналитических машин. В одном из полей перфокарты пробивается название (номер) элемента информации, которое может быть отнесено к числу характеристик. В том случае, если в каждой колонке перфокарты совокупность пробивок изображает только один первичный кодовый символ индекса (стр. 27), то этот символ может быть отпечатан на верхнем крае карты (см. рис. 8) или одновременно с перфорацией на специальном перфораторе, или после дополнительного прогона через специальную машину — интерпретатор (рис. 12). Более полная запись в удобочитаемой форме содержания  $e_k$  может быть осуществлена с помощью микропечати на специально отведенном участке карты. Такой способ, однако,

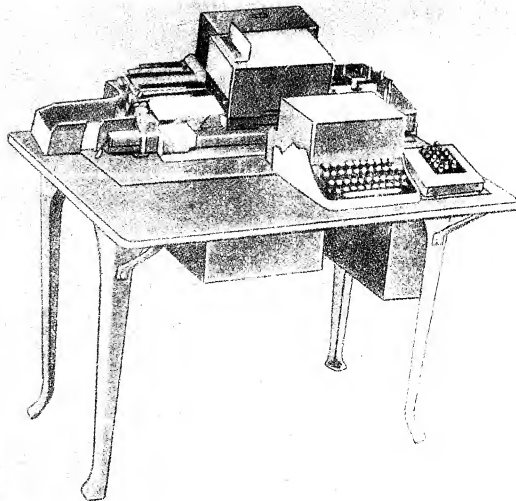


Рис. 11

неудобен для воспроизведения. Включение в перфокарту кадра микрофильма нежелательно, так как может привести к заминанию карт при прогоне. Неудобство записи содержания  $e_k$  на перфокарте в удобочитаемой форме является довольно существенным недостатком рассматриваемых устройств. Для частичного преодоления этого недостатка может быть предусмотрено и более сложное, чем интерпретатор, специальное устройство, автоматически расшифровывающее значение пробивок и печатающее на лист индексы характеристик. Такое устройство, как например, Cardatype фирмы IBM (рис. 13), объединяет пишущую машинку, дешифратор, сравнительно небольшое запоминающее устройство и устройство для восприятия пробивок с перфокарты. К вспомогательному оборудованию относятся также контрольный для контроля правильности нанесения пробивок и репродуктор для автоматического воспроизведения карт. Конструкция этих вспомогательных устройств почти не зависит от выбранного кода

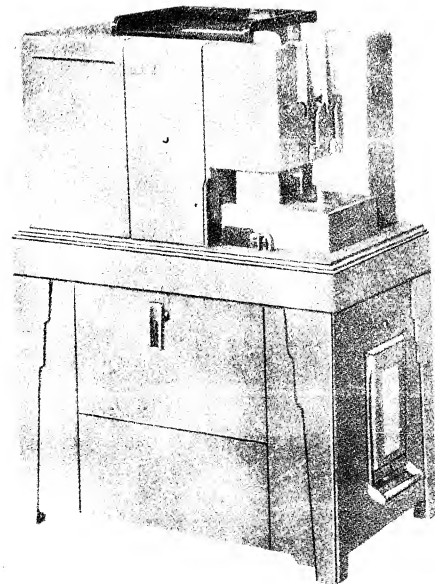


Рис. 12

и от основного устройства, на котором осуществляется прогон и выбор перфокарт. Все они принадлежат к известному, широко распространенному классу счетно-аналитических машин.

В качестве основного устройства, прогоняющего и выбирающего перфокарты, естественно также выбрать какую-либо из счетно-аналитических машин. Наиболее простой и быстрой действующей из таких машин является сортировальная машина



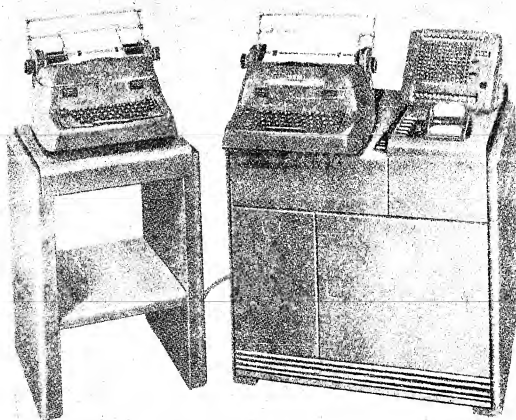


Рис. 13

(рис. 14). Карты на ней прогоняются со скоростью 400, а в некоторых моделях 650 и выше, карт в минуту. Воспринимающее устройство у обычной сортировки состоит из одной щетки, которую можно устанавливать против любой из 80 колонок перфокарты. Контактируя через первую встретившуюся пробивку с контактным валиком, щетка замыкает цепь выбирающего магнита, который, в зависимости от расположения этой пробивки, притянет раньше или позже сортировальные шины. Перфокарта при этом окажется между той парой опустившихся шин, которая ведет ее в надлежащий карман. Один карман предназначен для карт, не имеющих пробивок в просматриваемой колонке, а остальные 12 соответствуют 12 позициям — ячейкам, в каждой из которых может оказаться первая пробивка. Так как срабатывание выбирающего магнита может быть заранее исключено на любых заданных позициях с помощью специальных выключателей, то перфокарты с одинаковыми первыми пробивками в некоторой колонке могут быть разложены по карманам в зависимости от расположения второй пробивки и т. д. Исключив срабатывание магнита на всех позициях, кроме какой-либо заданной,

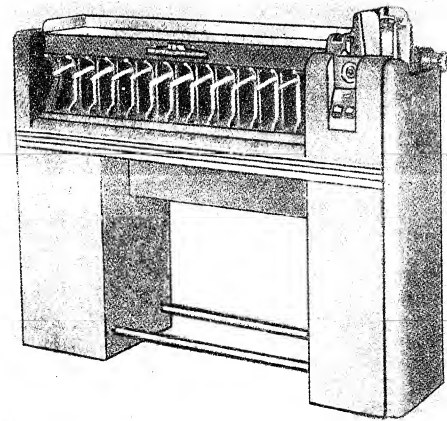


Рис. 14

мы можем, очевидно, отобрать за один прогон все карты, имеющие пробивку в какой-либо заданной ячейке.

Из рассмотрения возможностей обычной сортировки вытекает, таким образом, что в результате многократных прогонов последовательно отбираемых карт мы можем найти все те карты, которые содержат заданное множество пробивок. Такое решение аналогично последовательному сравнению перфокарт, вырезанных по краям, с одним стержнем. Однако, так как здесь производится не только последовательное сравнение перфокарт, то, несмотря на применение гораздо более сложных машин, скорость выбора оказывается даже более низкой—400 карт в минуту вместо 1 000 для сравнения по одной ячейке (стр. 42). Отсюда вытекает, что при скоростях прогона, даваемых сортировками, да, пожалуй, и большинством других устройств последовательного действия, применять последовательное сравнение ячеек нецелесообразно.

Для параллельного сравнения ячеек перфокарты и ячеек запоминающего устройства в схему сортировки необходимо внести некоторые изменения. Так как параллельное сравнение ячеек



требует одновременного восприятия всех ячеек сравниваемого поля, то, вместо одной щетки, на сортировке необходимо было бы установить 960 щеток — по числу всех возможных ячеек, одновременно сравниваемых в случае прямого и локального кодов. Установка такого большого числа щеток конструктивно нецелесообразна, поэтому на сортировке устанавливается только 80 щеток (по числу всех колонок), а сравнение производится по позициям за 12 этапов. Это не замедляет сравнения, так как перфокарта все равно в силу своей формы проходит под щетками своими позициями поочередно, но зато требует аналогичной развертки запоминающего устройства.

В случае прямого и локального кодов, независимо от подразделения всей перфокарты на поля, каждая строка перфокарты последовательно сравнивается с соответствующей строкой запоминающего устройства.

В случае нелокального кода, чтобы избежать дополнительной развертки полей запоминающего устройства, целесообразно выбирать в качестве полей строки или части строк. Тогда, если нелокальный код упорядочен (стр. 30) и каждая строка перфокарты отведена под одно поле, то с первой строкой запоминающего устройства сравниваются, вплоть до совпадения индексов, поочередно первая, вторая и т. д. строки перфокарты, затем со второй строкой запоминающего устройства сравниваются поочередно последующие строки перфокарты и т. д. (стр. 30). При этом, очевидно, предполагается, что каждая строка запоминающего устройства также является отдельным полем. Сложнее обстоит дело в том случае, если нелокальный код не упорядочен. Предполагая опять, что строка перфокарты является полем, мы должны теперь сравнивать каждую строку перфокарты уже не с одной, а со всеми строками запоминающего устройства. За короткий срок контактирования щеток на позициях одной строки (порядка нескольких миллисекунд) поочередное сравнение этой строки со всеми строками запоминающего устройства привело бы к сильному сокращению времени каждого сравнения и переключения, а, следовательно, очень усложнило бы сравнивающее устройство. Поэтому в этом случае проще сравнивать каждую строку перфокарты одновременно со всеми строками запоминающего устройства, введя вместо одного элемента, регистрирующего совпадение индексов, столько элементов, сколько имеется строк в запоминающем устройстве.

Итак, для выбора перфокарт за один прогон сравнивающее устройство усовершенствованной сортировки должно осуществлять следующее:

а) регистрировать результат сравнения ячеек из двух строк — строки перфокарты и строки запоминающего устройства;

б) развертывать, т. е. последовательно вводить в сравнение — подключать к щеткам и регистрирующему элементу, строки запоминающего устройства — поочередно принудительно в случае прямого и локального кодов и поочередно в зависимости от результатов предшествующих сравнений в случае нелокального упорядоченного кода;

в) заменять поочередное сравнение строки перфокарты со всеми строками запоминающего устройства одновременным сравнением (при помощи нескольких регистрирующих элементов) в случае нелокального кода.

Сравнение ячеек из двух строк с помощью только одного регистрирующего совпадение или несовпадение элемента осуществляется в соответствии с правилами, описанными в § 6 (стр. 34). Как уже говорилось выше, по сравнению с примером, рассмотренным на стр. 36, роль света, проходящего через пробивки, здесь играет электрический ток, а за регистрирующий элемент может быть выбран не фотозадающий, а реле или лампа, отмечающие отсутствие тока — сигнала несовпадения в некоторых цепях, образованных контактным валиком, пробивками, щетками, контактами запоминающего устройства и управляющими обмотками регистрирующего элемента.

В случае прямого двоичного кода и селекторного кода для совпадения (выбора) необходимо, чтобы выполнялись соотношения (\* \*), которые во втором случае могут быть заменены и соотношениями (\* \* \* \*). Действительно, воспользовавшись, например, первыми соотношениями, примем за кодовые символы перфокарты непробитые ячейки, а все щетки из Мт (множества щеток и ячеек идентифицируем) присоединим к первому концу обмотки регистрирующего элемента, второй конец которой и контактный валик присоединим к разным полюсам источника тока. Тогда в обмотке регистрирующего элемента ток не появится только при выполнении условия  $M_0 \cap M_t = 0$ , что соответствует затемнению наложенных полей в прежнем примере. Если бы мы захотели воспользоваться вторыми соотношениями, то вся картина светилась бы к тому, что за кодовые символы перфокарты принимались бы пробитые ячейки, а объединялись бы щетки из Мб.

Весьма важным является то, что местные состояния перфокарты могут быть довольно просто трансформированы внутри сравнивающего устройства. Наиболее очевидным, но далеко не самым простым способом такой трансформации является усложнение воспринимающего устройства, когда со щеток импульсы поступают не непосредственно в цепи сравнения, а на реле, лампы или иные промежуточные элементы.

Трансформация местных состояний перфокарты позволяет уже в случае локального и нелокального двоичных кодов про-

верить выполнение соотношений (\*\*\*)). Так, например, если усложненное воспринимающее устройство будет посылать плюс в проводники, соответствующие ячейкам из  $M_1$  и минус в проводники из  $M_0$ , то подключая одновременно или поочередно проводники из  $M_2$  через некоторые промежуточные элементы и обмотку регистрирующего элемента на минус, а проводники из  $M_7$  — на плюс, мы зарегистрируем выполнение обоих условий, если в обоих случаях в обмотках (или обмотке) регистрирующего элемента не появится тока — сигнала несовпадения. Таким образом, описываемые устройства позволяют использовать наиболее экономный двоичный код. То, что это стало возможным, связано с тем фактом, что каждая ячейка носителя и запоминающего устройства имеет в результате трансформации как бы три местных состояния: плюс, минус и нейтральное.

Сравнивающее устройство усовершенствованной сортировки, осуществляющее сравнение ячеек из двух строк, позволяет уже осуществить выбор нужных перфокарт в случае прямого или локального кода не более чем за 12 прогонов последовательно отбираемых карт. Действительно, задаваясь сначала первой строкой карты, мы сможем отобрать все карты, имеющие требующуюся первую строку. Регистрирующий элемент при просмотре нужной карты по первой строке не срабатывает, что приводит к срабатыванию выбирающего магнита и посылке карты в карман нужных карт. Работа регистрирующего элемента при прохождении других строк карты легко может быть исключена. Отобранные карты прогоняются затем вторично после задания второй строки и т. д. В случае нелокального кода число прогонов равно числу индексов вопроса (предполагая, что под один индекс отводится целая строка), а регистрирующий элемент может работать на любых позициях — отбираются карты, при прохождении которых регистрирующий элемент хоть один раз не сработал.

Заметим попутно, что существуют устройства, основные функции которых исчерпываются описанным выше одновременным сравнением двух множеств ячеек. Таковы, например, контрольный и контрольный аппарат табулятора. В контрольном пробивке из каждого столбца перфокарты сравниваются с вновь набираемым каждый раз набором на клавиатуре. В контрольном аппарате табулятора попарное сравнение строк двух перфокарт обеспечивается синхронным прохождением обеих перфокарт мимо двух щеточных блоков. Очевидно, что цепи, осуществляющие попарное сравнение в усовершенствованной сортировке могут быть применены и в этих двух устройствах. Однако, применение в сортировке для развертки запоминающего устройства имеющихся в этих двух устройствах способов развертки по столбцам или строкам одного из сравниваемых множеств ячеек затруднительно. Действительно, последовательное подключение строк за-

поминающего устройства к цепям сравнения с помощью реле, искателей и т. п., аналогичное набору на клавиатуре, потребовало бы очень большого числа контактов (960), что, вместе с большой требуемой скоростью подключения (порядка нескольких миллисекунд), очень сильно усложнило бы устройство и снизило бы надежность его работы. Развертка с вопросной перфокарты, вращающейся мимо второго щеточного блока, потребовала бы существенных изменений в конструкции сортировки и, не устраняя полностью недостатков первого способа развертки, не была бы пригодна для нелокального упорядоченного кода.

Переходя к рассмотрению второй функции усовершенствованной сортировки — развертки запоминающего устройства в случае прямого, локального и нелокального упорядоченного кодов, мы не будем касаться, в силу только что изложенного, способов развертки, использующих непосредственное многоконтактное подключение. Нам остается, следовательно, только предположить, что все строки запоминающего устройства одновременно подключены (скоммутированы) к цепям сравнения (щетка), а развертка их, т. е. последовательное введение в сравнение, осуществляется в виде последовательного подключения целых строк к источникам тока или регистрирующему элементу с помощью небольшого числа контактов (1—2 контакта на строку). Контактное устройство при этом может осуществляться с помощью кулачков, реле и т. п. Карта отберется, если регистрирующий элемент не сработает ни для одной строки запоминающего устройства.

Очевидно, что, при таком решении развертки, строки запоминающего устройства должны коммутироваться с помощью промежуточных элементов, так как при непосредственном объединении щеток, соответствующем коммутации, появляются обходные цепи. Только для некоторых специальных кодов одновременная коммутация всех строк запоминающего устройства не требует введения дополнительных промежуточных элементов, ликвидирующих обходные цепи. Таков, например, случай малоемкого, но часто применяемого кода, когда в каждом столбце содержится не больше одной пробивки. Таким же свойством обладает и инвертированный код с 12 или 11 пробивками в каждом столбце. В обоих этих случаях множества щеток, соответствующие двенадцати множествам  $M_1$  или  $M_2$  из двенадцати строк, не пересекаются и обходные цепи не образуются.

Аналогично развертке решается и сравнение строки перфокарты одновременно со всеми строками запоминающего устройства, необходимое в случае нелокального кода. Строки запоминающего устройства коммутуются со щетками с помощью промежуточных элементов, служащих для ликвидации обходных цепей, и отводятся каждая на свой регистрирующий элемент. Наибольшая гибкость и приспособленность нелокального кода

для информационных поисков (стр. 23, 31) проявляется в возможности задавать: а) последовательность, в которой должны реагировать регистрирующие элементы на совпадение индексов карты и запоминающего устройства; б) число элементов, которые должны отреагировать; в) объединение элементов в группы, в каждой из которых должен отметить совпадение по крайней мере один элемент; г) элементы, которые не должны отметить совпадения; и другие логические связи, отражающие как общие связи между словами информационного языка, так и внутренние

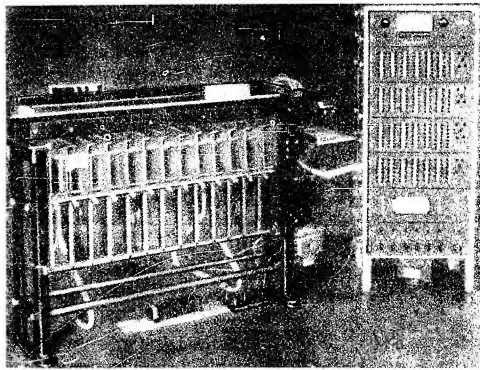


Рис. 15

логические связи между индексами элемента информации. Такое задание связей между работой регистрирующих элементов достигается, во-первых, заданием последовательности подключения их к источникам тока и, во-вторых, если, например, элементами являются реле, надлежащей коммутацией их контактов между собой и со счетчиком. В выбирающий магнит ток поступит через эти контакты только при выполнении всех заданных условий, и нужная карта будет отображена за один прогон.

Таким образом, усовершенствованная сортировальная машина является весьма гибким устройством, механизующим информационные поиски и способным работать почти с любым информационным языком и кодом. Устройства, подобные по своим функциям описанному, были построены во Франции J. Samain'ом (рис. 15), а также фирмой IBM — электронная статистическая

машина (рис. 16). Разработанные автором совместно с инженером Б. М. Раковым принципиальные схемы усовершенствованной сортировки применены в моделях, работающих в Институте научной информации АН СССР.

Гибкость усовершенствованной сортировки, а также ее сравнительная простота и невысокая стоимость заставляют обратить на нее особое внимание, как на устройство, хорошо приспособленное для экспериментальных работ, необходимых при разработке информационного языка. Недостатки сортировки — отсутствие на перфокартах полного описания (в удобочитаемой форме)

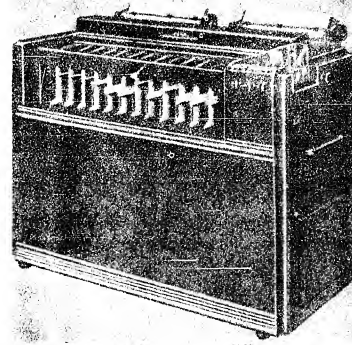


Рис. 16

содержания элементов информации, необходимость периодической замены износившихся карт и все еще недостаточно высокая скорость поисков, не являются для таких работ существенными. Так, например, изнашиваемость перфокарт вполне окупается их дешевизной, что позволяет безболезненно заменять одни перфокарты другими при переходе к экспериментированию с новым информационным языком.

Усовершенствованная сортировка с успехом может быть применена и для самостоятельной работы при решении многих информационных задач, особенно в тех учреждениях, где уже имеются станции счетно-аналитических машин. На ней могут решаться, как все задачи, решаемые с помощью простейших устройств параллельного действия (стр. 38), так и многие другие аналогичные задачи с уже известным информационным языком,

требующие большей емкости кода и большей механизации поисков\*. Большим преимуществом сортировки по сравнению с такими устройствами является возможность применения нелокального кода. Этот код позволяет уже решать задачи с информационным языком, содержащим очень большое число характеристик, не обязательно распадающихся на группы взаимоисключаемых характеристик.

Емкость перфокарты (960 ячеек) оказывается вполне достаточной для многих задач. Как уже говорилось выше (стр.32), перфокарта может быть подразделена на зоны для прямого, локального и нелокального кодов. Под каждую зону удобнее всего отвести некоторое количество полных столбцов перфокарты, а соответствующие этим столбцам шетки подвести к своей зоне запоминающего устройства. Зона локального кода разбивается на поля и участки, исходя из удобства кодирования, перфорации и печати с перфокарты на лист. Просмотр перфокарт по зонам прямого и локального кода, как уже говорилось выше, может быть выполнен с помощью одного общего регистрирующего элемента.

Столбцы, отведенные под нелокальный код, могут образовывать одну или несколько зон, причем в последнем случае каждая зона нелокального кода состоит опять-таки из некоторого количества полных столбцов. Поле каждого индекса лежит в любой зоне нелокального кода в одной строке (стр.58), занимая все ячейки этой строки из столбцов зоны. Общее число индексов, которые могут быть записаны по нелокальному коду на перфокарте, не превышает, таким образом, 12 в случае одной зоны, 24 в случае двух зон и 36 в случае трех зон. Больше трех зон под нелокальный код отводить затруднительно, так как даже если вся перфокарта занята под нелокальный код, то на один индекс может приттись слишком мало ячеек. Так, например, в случае четырех зон с одинаковым числом ячеек в каждом поле мы имеем для каждого из 48 индексов только 20 ячеек. Даже в наиболее благоприятном случае, когда каждый индекс является двоичным числом, эта емкость позволяет записывать индексы, принимающие только  $2^{20} \approx 1\,000\,000$  значений. Если же первичные кодовые символы, из которых состоит индекс (стр.27), являются не 0 и 1, а, например, буквами латинского и русского алфавита, цифрами, знаками препинания и др., то для каждого разряда индекса, т. е. под каждый участок поля, необходимо отвести по крайней мере 6 ячеек ( $2^6=64$ ), что дает всего трехразрядные индексы.

\* Обширная библиография различных применений содержится в цитированной выше (стр.46) книге R. S. Casey и J. W. Perry.

Необходимо отметить, что при наличии нескольких зон нелокального кода каждый индекс запоминающего устройства, записанный по нелокальному коду, должен уже сравниваться одновременно с несколькими (по числу зон) индексами перфокарты. Чтобы избежать наложения импульсов, приходящих при таком одновременном сравнении от шеток из разных зон, можно дублировать (по числу зон) запоминающее устройство. Более радикален другой путь — без дублирования индексов запоминающего устройства, но приводящий к коду, промежуточному между нелокальным и локальным. В этом случае все возможные индексы, как и при локальном коде, разбиваются заранее на столько групп сколько существует зон, т. е. кодируются также и по месторасположению, но внутри каждой зоны индексы из соответствующей группы кодируются по нелокальному коду.

То или иное подразделение перфокарты на зоны, а также выбор самих кодов для различных групп индексов обуславливается решаемой информационной задачей и производится в соответствии с соображениями, изложенными в § 6 (стр.28—37). Если для некоторых элементов информации емкость перфокарты оказывается недостаточной, то индексы в случае нелокального кода могут быть расположены на двух и более картах, но тогда приходится следить за тем, чтобы эти карты всегда следовали одна за другой.

Скорость поисков на усовершенствованной сортировке также является вполне удовлетворительной для многих задач. Она зависит прежде всего от скорости прогона карт. Последняя, как уже говорилось выше, равняется 400—650 картам в минуту, однако может быть при усовершенствовании прогоняющего устройства доведена, повидимому, и до 1 000 карт в минуту. Наличие классификации по ведущей группе (группам) взаимоисключаемых характеристик (стр.44) позволяет, как и всегда, очень сильно сократить время поисков за счет просмотра не всех элементов информации. В устройствах последовательного действия появляется, кроме того, и еще одна возможность ускорения поисков — одновременное выполнение многих заказов. Действительно, аналогично тому, как строка перфокарты одновременно сравнивалась в случае нелокального кода сразу со всеми строками запоминающего устройства, принадлежащими одному заказу, может производиться сравнение и со строками из разных заказов. При этом увеличится только объем запоминающего устройства и число регистрирующих элементов. Перфокарта отбирается, если она оказывается нужной хотя бы для одного заказа. Отобранные перфокарты, число которых уже значительно меньше общего числа перфокарт, просматриваются затем уже

для каждого заказа в отдельности. Одновременное выполнение многих заказов не только приводит к увеличению скорости поисков, но и увеличивает срок службы карт в силу меньшей частоты прогонов. Заметим, однако, что оно находится в некотором противоречии с частичным прогоном карт при наличии классификации. Указанные возможности увеличения скорости поисков позволяют применять сортировальную машину для решения задач с числами элементов информации — перфокарт порядка нескольких сотен тысяч.

Для частичного устранения отмеченных выше недостатков сортировки — отсутствия полного описания элементов информации и необходимости периодической замены износившихся карт, могут быть применены машины, печатающие на лист индексы характеристик в удобочитаемой форме, и особо прочные перфокарты. Более полное устранение этих недостатков, а также большая компактность записей и еще большая скорость поисков могут быть достигнуты в более совершенных с точки зрения эксплуатации устройствах последовательного действия, использующих непрерывный носитель, например, фотопленку. Переходя к описанию этих устройств, заметим, что на базе усовершенствованной сортировальной машины может быть построена и специализированная выборочная машина, работающая с перфокартами. Имея только два кармана — для нужных и ненужных карт, короткое и быстросействующее прогоняющее устройство, выбирающее устройство в виде легкой защелки, вместо сортировальных шин, и подающее устройство, обеспечивающее минимальный износ карт, такая выборочная машина была бы гораздо более совершенной с эксплуатационной точки зрения, чем усовершенствованная сортировка, и с успехом могла бы конкурировать при решении многих информационных задач с другими более сложными устройствами последовательного действия. В качестве воспринимающего устройства в такой машине могли бы быть использованы вместо щеток и фотоэлементы, применение которых в микрофильмовом селекторе будет описано ниже.

Примером такой специализированной выборочной машины может служить второе устройство, разработанное J. Samain'ом, известное под названием селектор системы Filmorex\*. Вместо обычных перфокарт здесь используются карты из фотопленки размером 72×45 мм, прогоняемые со скоростью 600 карт в минуту. Одна половина карты отводится для репродукции полного описания элемента информации (до двух страниц текста), а вторая — для 20 индексов, записанных по нелокальному коду.

\* Samain, J. Filmorex. Une nouvelle technique de classement et de selection des documents et des informations. Paris, 1952.

Поле каждого индекса на карте состоит из одной строки, разделенной на 5 участков, каждый из которых состоит из 5 ячеек, что позволяет записать по селекторному коду ( $\gamma_1=2$ ) любое пятизначное число. За вторичные кодовые символы вместо пробивок приняты прозрачные квадратики. Восприятие осуществляется с помощью фотоэлементов. Весьма ценной чертой описанного устройства является возможность помещения на карте полного описания элемента информации в форме, удобной для чтения (с помощью обычных аппаратов для чтения микрофильма) и репродукции.

\* \* \*

## § 9. УСТРОЙСТВА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С НЕПРЕРЫВНЫМ НОСИТЕЛЕМ

Непрерывный носитель — микрофильм или магнитная пленка, заменяющий перфокарты, обладает по сравнению с последними рядом существенных преимуществ. К ним относятся — большая компактность и износостойчивость, возможность более быстрого прогона и более быстрый и удобный вывод отбираемой информации.

Кадр микрофильма или магнитной ленты соответствует, как и перфокарта, элементу информации  $e_k$ . Часть кадра отводится для номера, названия или даже полного описания  $e_k$ , остальная часть отводится для полей, в которых в точности так же, как и на перфокарте, т. е. с использованием тех же кодов, записываются индексы характеристик. Однако в связи с увеличением скорости прогона и переходом к электронному воспринимающему устройству, а также в связи с конструктивными особенностями носителя, здесь уже вторичные кодовые символы реализуются не в виде пробивок (хотя возможно и применение перфоленты), а в виде темных и светлых квадратов на микрофильме или в виде намагниченных участков магнитной пленки. Очевидно, что кадр той же емкости, что и перфокарта, займет меньшую площадь, чем перфокарта, и, кроме того, может быть сделан в случае нелокального кода разных размеров (вдоль носителя) в зависимости от числа характеристик из соответствующего кадру  $P_k$ . Начало и конец кадра отмечаются при этом специальными метками. Это еще больше увеличивает компактность записей и позволяет считать запись соответствия между элементами множеств  $E$  и  $P$  на микрофильме или магнитной пленке наиболее удовлетворительной по занимаемому объему.

Воспринимающее, сравнивающее и запоминающее устройства для магнитной пленки и микрофильма могут быть сделаны принципиально не отличающимися от таковых же для перфокарт, например, следующим образом. Вместо импульса, поступающего

на щетку через пробивку, здесь поступает импульс от намагниченного участка — пятна на воспринимающую головку или от прозрачного квадрата на фотозлемент. Сработавшие фотозлементы и головки, воспринявшие импульс, с помощью специального электронного устройства, которое и является наиболее существенным усложнением воспринимающего устройства, открывают, как и раньше, путь току в надлежащие цепи сравнивающего устройства. Если в результате сравнения регистрирующие элементы сработают надлежащим образом, то через исполнительные цепи последних посылается сигнал списывания содержания нужного кадра на чистую магнитную пленку или сигнал фотографирования на чистую фотопленку. Для улучшения условий записи (без снижения скорости прогона) может быть применена предварительная передача содержания кадра на специальное быстродействующее запоминающее устройство.

В случае с магнитной пленкой употребление сравнивающего и запоминающего устройства того же вида, что и у усовершенствованной сортировки, может не столько усложнить воспринимающее устройство, сколько повлечет усложнение развертки запоминающего устройства (стр. 59), так как строки магнитной пленки содержат обычно небольшое количество ячеек (малая ширина пленки) и очень часто следуют друг за другом. Поэтому более целесообразным может оказаться применение иных конструкций этих устройств. Заметим здесь же, что небольшая ширина пленки, не позволяющая разместить в строке много ячеек, приводит к почти последовательному сравнению ячеек кадра и запоминающего устройства (стр. 34), и вследствие этого скорость поисков по сравнению с перфокартами возрастает при применении магнитной пленки в гораздо меньшей степени, чем скорость прогона строк. Тем не менее общая скорость просмотра ячеек получается при использовании магнитной пленки в несколько раз большей, чем при использовании перфокарт. Так, на UNIVAC'e прогонялось 1 000 000 кадров, снабженных в среднем 15 характеристиками, за 4 часа\*. Для записи этих характеристик по коду, представляющему собой смесь суперпозиционного и нелокального упорядоченного кода, было отведено, повидимому, около 300 ячеек в кадре, что дает по сравнению с сортировкой, прогоняющей 25 000 карт в час, увеличение скорости просмотра ячеек примерно в 3—4 раза. Там же упоминалось, однако, и о возможности дальнейшего увеличения скорости поисков в несколько раз.

В случае микрофильма установка против каждого столбца кадра своего фотозлемента также может представить конструк-

\* H. F. Mitchell. The use of the UNIVAC fac-tronic system in the library reference field. American Documentation. v. IV, № 1. 1953.

тивные трудности вследствие небольшой ширины пленки. Поэтому здесь может оказаться более выгодным вернуться к ранее упоминавшемуся способу сравнения полей посредством простого наложения (стр. 36). Пробивкам перфокарты и намагниченным участкам магнитной ленты соответствуют здесь светлые квадратики непрозрачной пленки. Электрические импульсы от пробивок и намагниченных участков заменяются здесь световыми потоками через прозрачные квадратики. Эти световые потоки уже не поступают (как раньше импульсы) на цепи сравнения, а непосредственно падают на запоминающее устройство, представляющее собой шаблон — кусок непрозрачной пленки или картона с инверсным по сравнению с микрофильмом расположением светлых квадратиков того же размера. Такое сравнение производится в тот момент, когда кадр микрофильма займет вполне определенное положение по отношению к запоминающему устройству, при котором одноименные ячейки сравниваемых полей совпадают. Если код локальный или прямой, то сравнение ячеек распространяется на все поля, и последние в единственный момент сравнения полностью накладываются на шаблон. Если же код нелокальный, то сравнение происходит в несколько следующих друг за другом моментов, в каждый из которых накладываются друг на друга поля индексов кадра микрофильма и шаблона. Установленные за шаблоном фотоэлементы регистрируют в момент сравнения полное затемнение всего шаблона или отдельные поля шаблона, что происходит в том случае, если индексы совпадают. Срабатывание фотоэлемента для всего шаблона, если код прямой или локальный, или всех фотоэлементов, которые должны сработать для полей шаблона (стр. 62), если код нелокальный, сигнализирует о том, что сравниваемый кадр соответствует нужному элементу, и вызывает вспышку лампы над той частью кадра, на которой сфотографировано полное описание элемента.

Простота такого процесса сравнения — воспринимающее устройство совпадает с регистрирующим элементом, цепи сравнения отсутствуют, развертка запоминающего устройства в случае прямого или локального кодов отсутствует, а в случае нелокального кода осуществляется автоматически самим передвижением микрофильма — покупается здесь за счет невозможности применения локального и нелокального двоичных кодов (стр. 37). Действительно, само сравнивающее устройство здесь не может трансформировать местных состояний кадра, для этого пришлось бы или, кроме пропуска, отражать свет от кадра так, чтобы непрозрачные квадратики свет-отражали, а прозрачные — нет, или наносить на фильм и шаблон двуцветные квадратики (опять три местных состояния, ср. стр. 60), проходя через которые свет не действовал бы на фотоэлемент только в том случае, если совпадают разноцветные квадратики. Обе возможности трудно осу-

ществимы, поэтому и приходится проверять выполнение только соотношений (\*\*) или (\*\*\*\*), но не (\*\*\*) (см. § 6).

Скорость прогона микрофильма может быть весьма высокой, что вместе с возможностью параллельного сравнения одноименных ячеек приводит к высокой скорости поисков. Она ограничивается в основном режимом работы лампы вспышки и

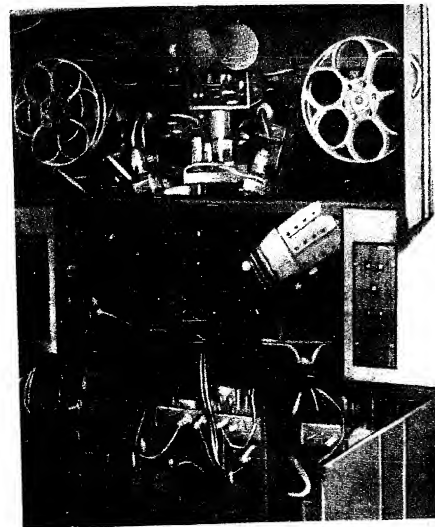


Рис. 17

устройством, передвигающим скачками чистую фотопленку. Непредставление о той скорости, которая может быть достигнута, дают сведения о микрофильмовом селекторе \* (рис. 17), который прогоняет в минуту 10 000 кадров (300 футов), каждый из которых содержит 6 индексов характеристик, записанных по локальному селекторному коду в 6 полях для групп взаимноисключ-

\* Photoelectric Librarian. Electronics. 22. Sept. 1949.

чаемых характеристик. На одной половине 35-миллиметровой пленки расположены части кадров, содержащие фотокопии описания  $e_k$ , а на другой (со сдвигом в 10 кадров)—соответствующие части кадров с полями (рис. 18, 19). Для каждого поля отведено два ряда ячеек-квадратиков с 19 ячейками в каждом ряду. Поле подразделено на 7 участков, содержащих по 5 ячеек, что позволяет записать по селекторному коду ( $\alpha_r = 2$ ) любое семи-значное число. Длина кадра — 7 мм, размер квадратика —  $0,5 \times 0,625$  мм.

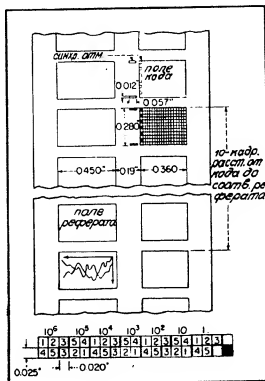


Рис. 18

Таким образом, скорость просмотра ячеек (40 000 в секунду) на микрофильме имеет тот же порядок, что и на магнитной пленке. Эта скорость может быть еще увеличена, если фильм прогонять не с катушек, а на вращающемся барабане. Это приведет также к уменьшению износа фильма. Однако главным преимуществом микрофильма перед магнитной пленкой является возможность помещения и выдачи с него непосредственно полного описания элементов информации. Это делает микрофильм наиболее перспективным для применения в будущем в совершенных устройствах, механизмирующих информационные поиски, а также для комплексного решения проблем хранения, распространения и отыскания сведений, как это предлагалось в информационной службе будущего (стр. 6).

Говоря о применимости описанных выше устройств последовательного действия с непрерывным носителем для решения информационных задач в настоящее время, надо иметь в виду, что в силу своей сложности они, как и сложные устройства парал-

лельного действия, могут оправдать себя только для решения специальных информационных задач с уже сложившимся информационным языком, требующих особой скорости и оперативности поисков или обязательной выдачи непосредственно полных описаний элементов информации (микрофильм). Для задач, требующих дополнительной разработки информационного языка, экспериментальные поиски лучше вести с перфокартами. Подобное же рассуждение еще более применимо к еще более сложным информационным машинам последовательного действия, например, к машинам с неподвижным носителем, где не кадры носителя последовательно проходят мимо воспринимающего устройства, а последнее подключается последовательно к кадрам. Повышенная износоустойчивость в таких машинах вряд ли окупает громоздкость и высокую стоимость. Даже для более скромных задач, чем поиски среди очень большого числа элементов информации, например, для хранения и отыскания чисел в быстродействующих вычислительных машинах, такие устройства применяются только в очень небольших масштабах. К тому же микрофильм, намотанный на барабан, практически почти столь же износоустойчив.

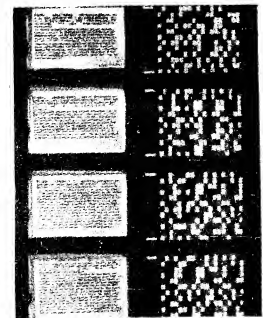


Рис. 19



## § 10. ВЫВОДЫ

1. Увеличивающийся со все большей скоростью объем сведений вызывает настоятельную необходимость в переходе к совершенно новым формам хранения, распространения и отыскания сведений. Часть прежних форм при этом останется без изменений, а часть усовершенствуется. Наиболее обещающим является комплексное решение этого вопроса, однако, имея в виду это комплексное решение, пока надлежит думать и над решением отдельных проблем.

2. Для решения общей проблемы отыскания сведений необходимо обратить наибольшее внимание на вопросы, связанные с созданием и развитием специального информационного языка (слова—индексы, грамматика—внутренние логические связи между индексами), однозначно отражающего все имеющиеся и появляющиеся связи между понятиями, что тесно связано с унификацией терминологии и классификацией, а также на вопросы перевода на этот язык содержания сведений — индексацию. Язык и его разработку желательнее всего сделать международными. Имея в виду, что язык будет предназначаться главным образом для механизированных поисков сведений, необходимо экспериментировать с ним на машине, обладающей достаточной гибкостью поисков и способной к быстрому и легкому переходу на другой язык или код. При этом такая машина может быть и не вполне совершенной по своей производительности, лишь бы она была перспективной в этом отношении возможно с изменением конструкции, но без снижения гибкости поисков.

3. Целесообразно внедрять в эксплуатацию и развивать недорогие простейшие устройства, облегчающие поиски для частных разделов сведений с уже более или менее сложившимся информационным языком. Особое внимание здесь необходимо обратить на устройства типа усовершенствованной сортироваль-

ной машины, работающие с перфокартами, как на вполне подходящие для экспериментирования с информационным языком.

4. Более сложные и дорогостоящие машины следует строить только для специальных частных информационных задач с известным языком. Для широких же разделов сведений впредь до выяснения, каким будет информационный язык, их следует во избежание лишних расходов только проектировать и исследовать отдельные узлы и элементы.

\* \* \*

# СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие . . . . .	3
§ 1. Хранение и распространение сведений . . . . .	5
§ 2. Отыскание сведений с помощью указателей. Первая и вторая проблемы информационных поисков . . . . .	8
§ 3. Недостатки указателей . . . . .	12
§ 4. Третья проблема — механизация информационных поисков . . . . .	15
§ 5. Информационный язык. Индексирование . . . . .	19
§ 6. Кодирование . . . . .	28
§ 7. Устройства параллельного действия . . . . .	38
§ 8. Простейшие устройства последовательного действия . . . . .	53
§ 9. Устройства последовательного действия с непрерывным носителем . . . . .	68
§ 10. Выводы . . . . .	74

\* \* \*

ЭЛЕКТРОННАЯ  
ЛИНГВИСТИКА  
МОДЕЛЬ  
СИЛА МП-9

---

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛИНЕЙНАЯ  
МОДЕЛЬ

типа МПТ-9

---

Москва

1952

## От редактора

Электронные модели типа ИПТ-4 и ИПТ-5 в настоящее время освоены в производстве и используются в практических научно-исследовательских разработках.

Класс решаемых на моделях ИПТ-4 и ИПТ-5 задач (с относительной погрешностью, не превосходящей величину 5—10%) ограничивается обычными устойчивыми динамическими системами до 6-го—10-го порядка, решение которых незначительно изменяется при малых вариациях их коэффициентов и начальных условий. Тогда же, когда с помощью моделей ИПТ-4 и ИПТ-5 производятся исследования неустойчивых динамических систем, приборное решение в ряде случаев может содержать значительную погрешность, обусловливаемую наличием в схеме модели электродвижущей силы дрейфа усилителей, а также неточностью задания коэффициентов системы и начальных условий.

С целью существенного расширения области применимости линейных электронных моделей непрерывного действия в 1951—1952 гг. была произведена разработка новой электронной модели типа МПТ-9, обладающей по сравнению с моделями типа ИПТ-4 и ИПТ-5 лучшими техническими характеристиками, а именно:

1. Модель МПТ-9, построенная по структурно-секционному принципу и содержащая значительное число блоков операционных усилителей, блоков постоянных коэффициентов и блоков переменных коэффициентов, позволяет составлять сложные схемы для моделирования динамических систем высокого порядка (до 16-го).

2. В модели МПТ-9 блоки операционных усилителей имеют весьма малый дрейф благодаря применению в них усилителей постоянного тока типа УПТ-6 со стабилизированным «нулем» (для усилителей типа УПТ-6 величина э. д. с. дрейфа, приведенная ко входу, равна 40—50 мкв за 10 мин.), что значительно снижает погрешность от э. д. с. дрейфа при исследовании на модели систем, имеющих неустойчивое решение.

3. В модели МПТ-9 переменные коэффициенты воспроизводятся в виде ступенчатых кривых с большей точностью, чем в предшествующих типах моделей ИПТ-4 и ИПТ-5, благодаря возможности разбиения их графиков по оси времени на неравные интервалы (по заданной программе).

4. Конструктивное построение модели МПТ-9 позволяет экономично и с минимальным числом блоков составлять частную схему динамических моделей в соответствии с исследуемой системой, причем все основные соединения блоков между собой могут производиться на одном центральном наборном поле.

5. В модели МПТ-9 предусмотрена возможность подачи на вход интегрирующих блоков значительного числа (до 12) внешних возмущений и воздействий от реальных приборов исследуемой системы автоматического регулирования.

Все вышеперечисленные обстоятельства позволили практически применить модель МПТ-9 для решения систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными и переменными коэффициентами высокого порядка, а также систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, имеющих неустойчивое решение (положительные действительные корни).

#### Глава I

### НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРНО-СЕКЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ТИПА МПТ-9

Структурно-секционная электронная линейная модель типа МПТ-9 является лабораторной установкой и предназначается для исследования динамики систем автоматического регулирования, описываемых линейными дифференциальными уравнениями вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j + f_i(t), \quad i=1, 2, 3, \dots, n, \quad (1.1)$$

где:

$x_i$  и  $x_j$  — неизвестные функции времени  $t$ ,  
 $f_i(t)$  — возмущающие воздействия,  
 $a_{ij}(t)$  — коэффициенты интегрируемой системы.

Эта же модель в ряде случаев применяется также в качестве математической счетной машины (электроинтегратора) для решения систем линейных дифференциальных уравнений вида (1.1) с постоянными и переменными коэффициентами. Основные технические характеристики модели МПТ-9 следующие:

1. Обычный порядок решаемой на модели системы линейных дифференциальных уравнений (1.1) — двенадцатый (в отдельных случаях может быть и выше).

2. МПТ-9 состоит из комплекса отдельных секций и блоков, из которых составляется схема модели для частного случая в соответствии с интегрируемой системой (1.1).

3. Модель предусматривает возможность одновременного ввода до 48 переменных и 48 постоянных коэффициентов системы (1.1). Число постоянных коэффициентов может быть значительно увеличено при подключении к дополнительным входам блоков операционных усилителей внешних сопротивлений обратной связи.

Коэффициенты интегрируемой системы  $a_{ij}(t)$  устанавливаются на модели в виде произведения двух сомножителей, одним из которых является масштабный коэффициент  $K_{м1}$ , общий для всех коэффициентов

одного уравнения системы (1.1) и определяющий их масштаб, а другим сомножителем является коэффициент  $a_{ij}(t)$ , с помощью которого устанавливаются значащие цифры этих коэффициентов.

Величины масштабных коэффициентов  $K_{mi}$  находятся в пределах от 1000 до 0,01 и имеют значения, кратные десяти: 1000, 100, 10, 1, 0,1, 0,01.

Графики переменных коэффициентов в модели воспроизводятся в функции времени в виде кривых с кусочно-постоянными значениями в интервалах разбиения. При наборе графиков  $a_{ij}(t)$  весь рабочий диапазон изменения коэффициентов делится по оси времени на 100 интервалов  $\Delta T_i$ , внутри которых значения коэффициентов остаются постоянными. Величины интервалов  $\Delta T_i$  могут быть как равными, так и неравными.

Ординаты коэффициентов  $a_{ij}(t)$  набираются с точностью  $\pm 0,5\%$  величины масштабного коэффициента. Величины интервалов  $\Delta T_i$  задаются с точностью до 0,125 сек. Длительность одного рабочего цикла развертки коэффициентов может равняться 12,5, 25, 50, 100, 200 сек.

Для воспроизведения на модели знакопеременных коэффициентов блок переменного коэффициента комбинируется с блоком постоянного коэффициента, с помощью которого смещается уровень воспроизводимого графика.

Для увеличения точности набора графиков  $a_{ij}(t)$  в каждый переменный коэффициент на модели вводится дополнительный индивидуальный масштабный множитель  $K_{a_{ij}}$  таким образом, чтобы были справедливы равенства

$$a_{ij}(t) = a_{ij}^*(t) K_{a_{ij}} K_{mi}, \quad (1.2)$$

$$z_{ij}(t) = a_{ij}^*(t) K_{a_{ij}},$$

где  $K_{a_{ij}}$  — имеет значения в пределах от 0 до 1 через 0,1. Если максимальное значение графика  $a_{ij}^*$  при  $K_{a_{ij}} = 1$  мало, то за счет уменьшения масштабного коэффициента  $K_{a_{ij}}$  можно увеличить значение  $a_{ij}^*$  и тем самым аппроксимировать график переменного коэффициента большим числом ступеней по оси ординат.

Постоянные коэффициенты на модели набираются с точностью в 3 знака, а переменные — с точностью в два знака (при  $K_{a_{ij}} = 1$ ) от значения масштабного коэффициента  $K_{mi}$ .

4. Переменные системы (1.1)  $x_i(t)$  выражаются в виде мгновенных значений  $U_i(t)$  напряжения постоянного тока, причем диапазон их изменения лежит в пределах  $\pm 100$  в.

Все переменные  $x_i(t)$  и их производные  $\frac{dx_i(t)}{dt}$  могут наблюдаться по стрелочным приборам, имеющим нуль по середине и подключаемым к выходам соответствующих операционных усилителей. Для

регистрации величин  $x_i(t)$  и  $\frac{dx_i(t)}{dt}$  применяются внешние измерительные приборы (например, шлейфовые осциллографы), подключаемые к выходам блоков операционных усилителей, выведенным на клеммы, расположенные на лицевых панелях секций СОУ.

5. Начальные условия для всех переменных  $x_i(t)$  задаются в диапазоне  $\pm 100$  в.

6. Сопряжение модели МПТ-9 с реальным регулятором производится с помощью типовых блоков операционных усилителей, магазинов постоянных коэффициентов и блоков переменных коэффициентов.

7. Точность воспроизведения системы (1.1) на модели МПТ-9 определяется следующими основными факторами:

- а) точностью выполнения отдельных математических операций с помощью блоков операционных усилителей, которая равна  $\pm 0,2\%$ ;
- б) точностью установки на модели коэффициентов интегрируемой системы, равной  $\pm 0,4\%$  значения масштабного коэффициента;
- в) дрейфом усилителей постоянного тока, который при интегрировании на модели системы уравнений (1.1) играет роль малых возмущающих сил.

В модели дрейф усилителей постоянного тока, приведенный к их входу, не превышает величины 40 мкв за 10 мин.

г) точностью задания начальных условий, которая обычно равна  $\pm 1\%$  максимального значения шкалы прибора установки начальных условий (зависит от класса этого прибора);

д) характером (степенью устойчивости) самой интегрируемой системы.

8. Все управление моделью МПТ-9 сосредоточено на панелях пульта управления и блоках управления секций операционных усилителей. На пульте управления модели производится задание режима работы блоков переменных коэффициентов, пуск и остановка рабочего процесса и возврат схемы модели в исходное положение.

На блоках управления секций блоков операционных усилителей постоянного тока производится: установка нулей усилителей постоянного тока, задание начальных условий переменным  $x_i(t)$ , контроль выхода за допустимые пределы  $\pm 100$  в выходных напряжений блоков операционных усилителей и наблюдение по стрелочным приборам величин  $x_i(t)$ .

9. Общее питание модели МПТ-9 осуществляется от сети переменного тока 220 в, 50 гц и постоянного тока 26 в.

10. В состав модели МПТ-9 входят следующие основные элементы:

- а) 4 секции операционных усилителей (с блоками управления);
- б) 48 блоков операционных усилителей (16 интегрирующих блоков типа БОУ-3 и 32 усилительных блока типа БОУ-4). В каждый блок БОУ входит один усилитель типа УПТ-6;
- в) 48 дополнительных колодок входных сопротивлений обратной связи БОУ;
- г) 4 секции блоков переменных коэффициентов;
- д) 48 основных блоков переменных коэффициентов типа СБ-5-0;
- е) 48 программных блоков переменных коэффициентов типа СБ-5-П;

- ж) 4 магазина постоянных коэффициентов типа МД-1;
  - з) пульт управления модели;
  - и) наборное поле модели;
  - к) специальный кварцевый генератор типа СКГ-2 на 50 гц;
  - л) 4 блока питания типа ЭСВ-1 с феррорезонансными стабилизаторами типа ЭПА-58 и 2 блока питания накала типа БПП-1;
  - м) комплект кабелей и коммутационных шунтов;
  - н) комплект запасных частей;
  - о) регулировочный инструмент.
10. В качестве приборов для проверки и наладки основных блоков модели к ней прилагаются:
- а) пульты ПУ-2 и ПВ-1 для проверки усилителей постоянного тока типа УПТ-6 и их вибраторов;
  - б) пульт ПСБ-2 для проверки сменных блоков переменных коэффициентов типа СВ-5;
  - в) пульт ПБП для проверки блоков питания типа ЭСВ-1.

## Глава 2

### ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМЫ МОДЕЛИ

Для решения заданной системы (1.1) линейная электронная модель должна иметь следующие звенья:

а) блоки ввода постоянных и переменных коэффициентов, с помощью которых осуществляется умножение переменных  $U_i(t)$  на коэффициенты  $a_{ij}(t)$ ;

б) суммирующие звенья, производящие суммирование величин  $a_{ij}(t) U_j(t)$ ;

в) масштабные звенья, определяющие масштаб  $K_{mi}$  коэффициентов  $a_{ij}(t)$  каждого уравнения первого порядка системы (1.1);

г) интегрирующие звенья, производящие интегрирование суммы

$$K_{mi} \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) U_j(t);$$

д) инвертирующие звенья, с помощью которых знак при переменных  $U_i(t)$  на выходе интегрирующих звеньев изменяется на противоположный.

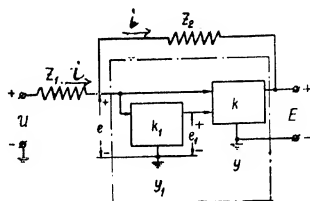
Операции суммирования, умножения на масштабный коэффициент, интегрирования и инвертирования в модели МПТ-9 осуществляются блоками операционных усилителей.

### § 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЛОКОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Действие блоков операционных усилителей модели МПТ-9 основывается на применении электронного усилителя постоянного тока, имеющего большой коэффициент усиления в схеме глубоких отрицательных обратных связей. Схема, поясняющая принцип работы операционного усилителя, представлена на фиг. 2.1.

На схеме  $U$  и  $U_1$  — усилители постоянного тока,  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$  — импедансы обратной связи. Усилитель постоянного тока  $U$  обладает хорошей частотной характеристикой, но имеет значительный дрейф, свойственный усилителям постоянного тока с гальванической связью между каскадами. Его коэффициент усиления  $k$  по знаку отрицателен. Для компенсации дрейфа нуля схемы усилителя  $U$  предназначается усилитель  $U_1$ ,

имеющий очень малый дрейф, но обладающий плохой частотной характеристикой. Коэффициент усиления  $k_1$  усилителя по знаку положителен.



Фиг. 2.1.

Если принять, что входные сопротивления обоих усилителей бесконечно велики, то уравнения, описывающие схему фиг. 2.1, могут быть записаны в операторной форме следующим образом:

$$\begin{cases} \bar{e}_1(p) = k_1 \bar{e}(p), \\ \bar{E}(p) = -k[\bar{e}(p) + \bar{e}_1(p)], \\ \bar{U}(p) - \bar{e}(p) = \bar{i}(p) Z_1(p), \\ \bar{e}(p) - \bar{E}(p) = \bar{i}(p) Z_2(p). \end{cases} \quad (2.1)$$

Отсюда следует, что операторный коэффициент усиления схемы будет равен:

$$K(p) = \frac{\bar{E}(p)}{\bar{U}(p)} = -\frac{\frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}}{1 + \frac{1}{k(1+k_1)} \left[ 1 + \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \right]}. \quad (2.2)$$

Как видно из выражения (2.2), операторный коэффициент усиления звена практически не будет зависеть от величины коэффициентов  $k$  и  $k_1$ , если произведение  $k(1+k_1)$  будет значительно больше 1. При этом:

$$K(p) = -\frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}. \quad (2.3)$$

Если

$$Z_1(p) = R_1, \quad \text{а} \quad Z_2(p) = R_2,$$

то

$$K(p) = -\frac{R_2}{R_1}. \quad (2.4)$$

и звено является усилительным (или, точнее, масштабным). В частном случае, при  $R_1 = R_2$  оно, не изменяя входной величины по абсолютному значению, меняет ее знак на противоположный, т. е. служит инверторным звеном.

При

$$Z_1(p) = R \quad \text{и} \quad Z_2(p) = \frac{1}{pC}$$

$$K(p) = -\frac{1}{pRC}, \quad (2.5)$$

т. е. звено становится интегрирующим с постоянной времени, равной  $T=RC$ . С помощью схемы включения обратных связей, приведенной на фиг. 2.2, производится суммирование нескольких величин.

Схема эта описывается следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \bar{i}_j(p) = \bar{i}_0(p), \\ \bar{i}_j(p) = \frac{-\bar{e}(p) + \bar{U}_j(p)}{R_j}, \\ \bar{i}_0(p) = \frac{-\bar{E}(p) + \bar{e}(p)}{Z_0(p)}, \\ \bar{E}(p) = -k[\bar{e}(p) + \bar{e}_1(p)], \\ \bar{e}(p) = \frac{\bar{e}_1(p)}{k_1}. \end{cases} \quad (2.6)$$

Откуда:

$$\bar{E}(p) \left[ 1 + \frac{1}{k(k_1+1)} \left( 1 + \sum_{j=1}^n \frac{Z_0(p)}{R_j} \right) \right] = -Z_0(p) \sum_{j=1}^n \frac{\bar{U}_j(p)}{R_j}. \quad (2.7)$$

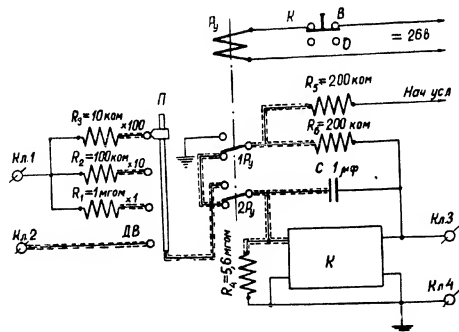
В пределе при

$$k(k_1+1) \rightarrow \infty$$

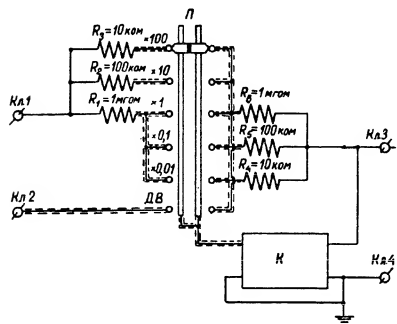
$$\bar{E}(p) = -Z_0(p) \sum_{j=1}^n \frac{\bar{U}_j(p)}{R_j}. \quad (2.8)$$



Если  $Z_0(p) = R_0 = R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_i$ , то звено будет суммирующим с коэффициентом усиления по каждому входу, равным единице.



Фиг. 2.3.



Фиг. 2.4.

Если  $Z_0(p) = \frac{1}{pC}$ , то звено будет совмещать одновременно и функции суммирующего звена и функции интегрирующего звена.

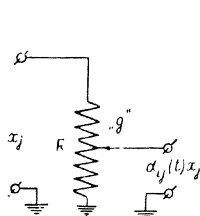
Все указанные операции осуществляются в модели блоками операционных усилителей, которые делятся на два типа: БОУ-3 и БОУ-4. С помощью блоков операционных усилителей БОУ-3 производится интегрирование входной величины (см. фиг. 2.3) с постоянной времени  $T = 1, 0.1, 0.01$  сек. С помощью блоков операционных усилителей БОУ-4 (фиг. 2.4) производится усиление входной величины (изменение масштаба) с коэффициентом усиления, равным  $K_M = 0.01, 0.1, 1, 10, 100$ .

Для суммирования нескольких величин в блоках операционных усилителей обоих типов предусмотрен дополнительный вход (ДВ), к которому подключаются дополнительные входные сопротивления обратных связей. Всего на каждом из блоков можно суммировать до 12 величин. В качестве усилителя постоянного тока в модели МПТ-9 применяется усилитель типа УПТ-6, для которого произведение коэффициентов усиления  $k(k+1) \approx 100.000.000$ .

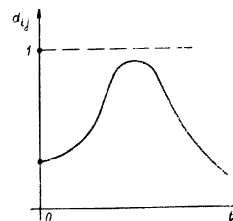
## § 2. ПРИНЦИП ВВОДА КОЭФФИЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Блоки ввода коэффициентов имеют своей основной функцией воспроизведение во времени графиков коэффициентов  $a_{ij}(t)$ , которые отличались бы от графиков заданных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  системы (1.1) только масштабом, и умножение их на соответствующие величины  $x_j$ .

Получение переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в модели осуществляется с помощью схемы потенциометра, изображенной на фиг. 2.5.



Фиг. 2.5.

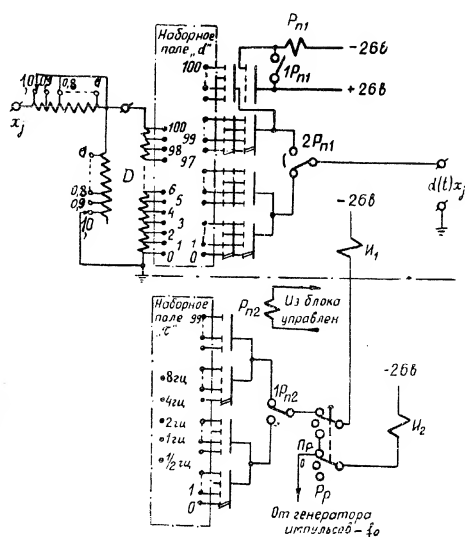


Фиг. 2.6.

Выходное напряжение  $U_{ij}$  между движком потенциометра и землей будет равно  $a_{ij}(t)U_j$  в том случае, если движок потенциометра перемещается таким образом, что отношение сопротивления между движком и началом потенциометра к полному сопротивлению потенциометра  $R$  в каждый момент времени будет равно значению соответствующей ординаты на графике переменного коэффициента  $a_{ij}(t)$  (фиг. 2.6):

$$a_{ij}(t) = \frac{r(t)}{R} \quad (2.9)$$

Роль потенциометра, движок которого перемещается по заданной программе, в модели выполняет устройство, представленное на фиг. 2.7.

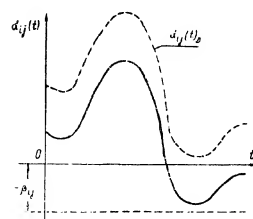


Фиг. 2.7.

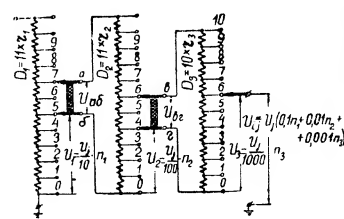
С помощью шагового переключателя  $I_1$  (типа искателя ШИ-50/4) осуществляется скачкообразное перемещение движка потенциометра, представленного на фиг. 2.5, что эквивалентно разбиению графика воспроизводимого переменного коэффициента на интервалы  $\Delta T_i$  по оси времени.

Интервалы  $\Delta T_i$  могут быть как равными, так и не равными. В первом случае на обмотку искателя  $I_1$  подаются импульсы напряжения с некоторой постоянной частотой  $f_0$ , и на наборном поле  $\alpha$  набираются только значения ординат коэффициента. Во втором случае

импульсы напряжения подаются на обмотку искателя  $I_1$  по некоторой программе, которая вырабатывается с помощью искателя  $I_2$ . В этом случае, кроме величин ординат, набирается и программа переключения щеток искателя  $I_1$ . Принцип составления программы заключается в сле-



Фиг. 2.8.



Фиг. 2.9.

дующем. Все время развертки коэффициента во времени, которое может быть равно 200, 100, 50, 25 и 12.5 сек., делится на равные интервалы времени  $T_0$ , и на каждом таком интервале на обмотку искателя задается некоторое количество импульсов  $m$ , равное 0 или  $2^n$ , где  $n = 0, 1, 2, 3, 4$ . Максимальное число импульсов  $m_{\text{макс}}$  зависит от величины  $T_0$ .

При частоте развертки  $f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2}$  сек. на обмотку искателя  $I_1$  может быть подано 0, 1, 2, 4, 8 или 16 импульсов напряжения; при  $f_0 = 1$  сек. может быть подано 0, 1, 2, 4 или 8 импульсов и т. д. Таким образом, те участки графиков переменных коэффициентов, где имеют место крутые фронты, можно аппроксимировать большим количеством ступеней, а там, где график имеет малый наклон — небольшим количеством ступеней.

Значения ординат кривой  $a_{ij}(t)$  набираются с помощью стосекционного делителя напряжения  $D$ , на вход которого подключаются величины  $x_j$ . В том случае, если графики коэффициентов  $a_{ij}(t)$  по знаку переменны, то схеме блока переменного коэффициента придается блок постоянного коэффициента, с помощью которого смещается уровень графика таким образом, чтобы он стал незначительно переменным (фиг. 2.8).

Для увеличения точности воспроизведения малых по величине коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в схеме блока переменного коэффициента имеется масштабный делитель напряжения, с помощью которого коэффициент  $a_{ij}(t)$  представляется в виде двух сомножителей:

$$a_{ij} = a_{ij}^* K_{a_{ij}},$$

где  $K_{a,ij}$  — масштабный множитель, могущий принимать значения от 0 до 1 через 0,1.

Постоянные коэффициенты в модели вводятся аналогично переменным коэффициентам с помощью трехдекадного делителя напряжения, показанного на фиг. 2.9.

Делители напряжения  $D_1$  и  $D_2$  имеют по одиннадцать секций равных сопротивлений, а делитель  $D_3$  — 10 секций. При принятых в схеме величинах для  $r_1, r_2, r_3$  имеют место соотношения:

$$r_3 = 0,2 r_2,$$

$$r_2 = 0,2 r_1.$$

Сопротивления между движками (а, б) и (в, г), таким образом, будут равны:

$$r_{a,б} = \frac{2 r_1 \cdot 10 \cdot 0,2 r_1}{2 r_1 + 10 \cdot 0,2 r_1} = r_1,$$

$$r_{в,г} = \frac{2 r_2 \cdot 10 \cdot 0,2 r_2}{2 r_2 + 10 \cdot 0,2 r_2} = r_2.$$

Поэтому, независимо от положения движков а, б, в, г, на делитель  $D_2$  будет всегда подаваться напряжение  $U_{aб} = \frac{U_j}{10}$ , а на делитель  $D_3$  — напряжение  $U_{вг} = U_j 100$ .

Таким образом, напряжение на выходе схемы (2.9) будет равно

$$U_{ij} = U_j 0,1 (n_1 + 0,1 n_2 + 0,01 n_3),$$

где  $n_1, n_2, n_3$  — номера выводов секций делителей ( $n_1$  и  $n_2$  меняются от 0 до 9, а  $n_3$  — от 0 до 10). С помощью  $n_1$  набирается первая, с помощью  $n_2$  — вторая и с помощью  $n_3$  — третья значащие цифры постоянного коэффициента при переменной  $U_j$ .

## Глава 3

### БЛОК-СХЕМА МОДЕЛИ И ЕЕ ОБЩЕЕ КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Модель МПТ-9 по принципу построения является структурно-секционной моделью. Она состоит из ряда секций, в которых сгруппированы основные ее блоки — блоки операционных усилителей, блоки переменных коэффициентов и блоки постоянных коэффициентов. Секция операционных усилителей (СОУ) обслуживает 12 блоков операционных усилителей, каждому из которых придается дополнительная колодка для входных сопротивлений обратных связей. Для задания начальных условий, визуального наблюдения решения задачи по приборам, контроля нуля и контроля выхода за рабочий диапазон выходных напряжений БОУ в секции предусмотрен блок управления (БУСОУ).

Секция переменных коэффициентов (СПК) обслуживает 12 основных блоков переменных коэффициентов СБ-5-0, каждому из которых придается по одному программному блоку СБ-5-П.

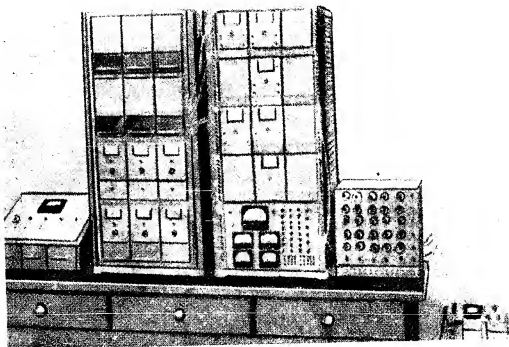
12 блоков постоянных коэффициентов объединяются в секцию постоянных коэффициентов или, иначе, магазин делителей типа МД.

Всего в модели МПТ-9 имеется по четыре секции каждого типа. Кроме того, в модель входят следующие блоки: 16 блоков операционных усилителей типа БОУ-3, 32 блока операционных усилителей типа БОУ-4, 48 блоков СБ-5-0, 24 блока СБ-5-П, пульт управления модели (ПУ МПТ-9), кварцевый генератор СКГ-2 и наборное поле ПН. Для соединения блоков между собой в модели предусматривается комплект соединительных шнуров и кабелей, причем блоки и секции между собой могут соединяться в соответствии с двумя основными вариантами схемы кабельных соединений. В первом случае (фиг. 3.3) соединение секций и блоков модели между собой осуществляется с помощью наборного поля ПН. Во втором случае (фиг. 3.4) наборное поле отсутствует, а входы и выходы блоков модели коммутируются непосредственно соединительными шнурами.

Кроме двух основных вариантов соединения блоков между собой, возможны и другие. В частности, можно из секций модели образовывать ряд моделей для решения систем более низкого порядка.

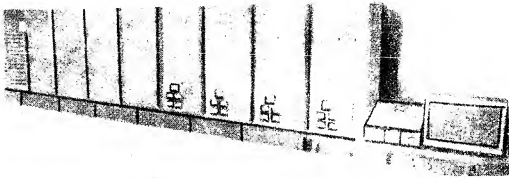
Питание электронных блоков модели производится от 4 электронно-стабилизированных блоков питания типа ЭСВ-1, 2 блоков накала типа БПН-1 и сети 127 в переменного тока. На фиг. 3.1 представлен вид одной секции модели МПТ-9 со стороны лицевых панелей блоков, для

частного случая решения системы 4-го порядка с постоянными и переменными коэффициентами. В центре находятся секции переменных коэф-



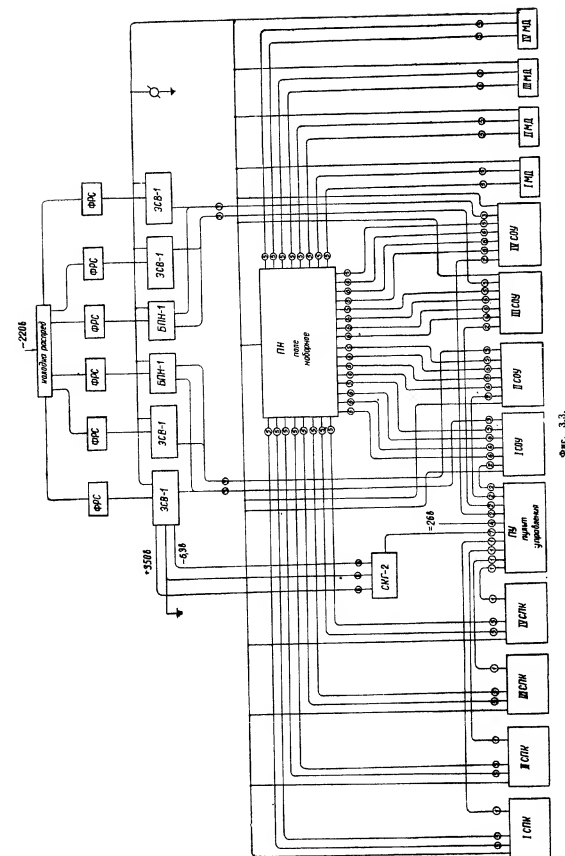
Фиг. 3.1.

фициентов СПК (слева) и операционных усилителей (справа). Слева от секции СПК находится пульт управления, а справа от секции СОУ находится магазин делителей МД. Входы и выходы блоков соединены

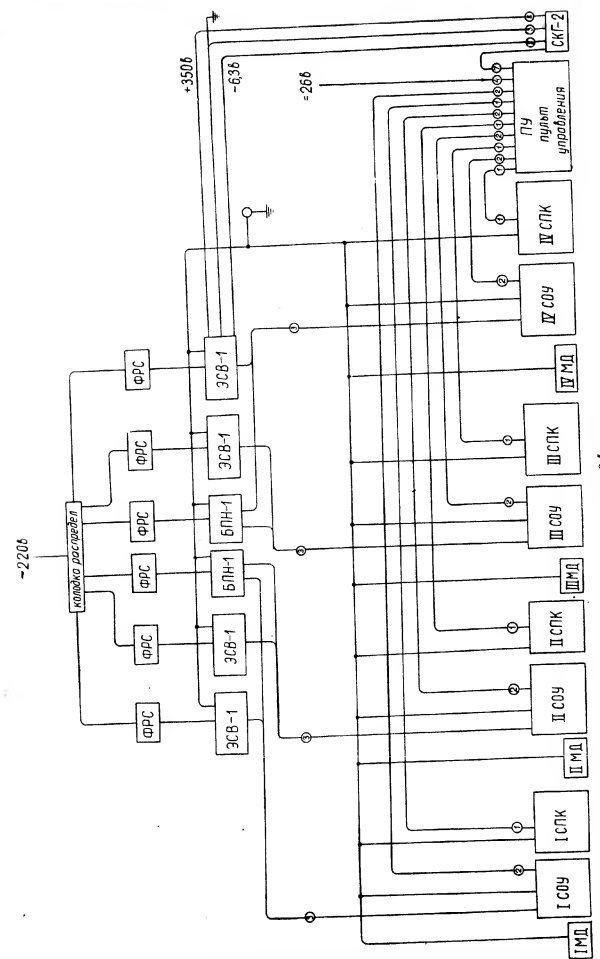


Фиг. 3.2.

между собой с помощью соединительных шнуров. Слева от модели находится шлейфовый осциллограф, применяемый для записи решений на осциллограмме. На фиг. 3.2 дан общий вид полного комплекса основных блоков модели МПТ-9.



Фиг. 3.3.



Фиг. 3.4

Кроме указанных основных блоков, в комплект модели МПТ-9 входят вспомогательные пульты (для проверки и настройки усилителей УПТ-6, блоков переменных коэффициентов СБ-5-0 и СБ-5-П и блоков питания ЭСВ-1), регулировочный инструмент и запасные части.

Подробное описание основных секций и блоков модели МПТ-9 дается в главе 4.

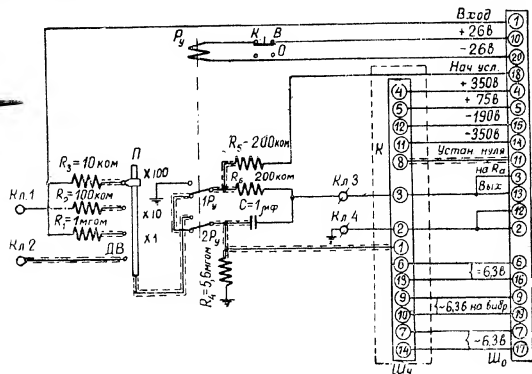
## Глава 4

## БЛОКИ МОДЕЛИ

## § 1. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ ТИПА БОУ-3 И БОУ-4

## 1. Блок операционного усилителя БОУ-3

Как указывалось ранее, блок операционного усилителя БОУ-3 служит в модели МПТ-9 для выполнения операции интегрирования. Принципиальная электрическая схема БОУ-3 дана на фиг. 4.1. По своему



Фиг. 4.1.

устройству схема блока включает в себя усилитель постоянного тока и набор сопротивлений обратных связей. В качестве усилителя постоянного тока используется усилитель с малым дрейфом типа УПТ-6, описание которого приводится ниже.

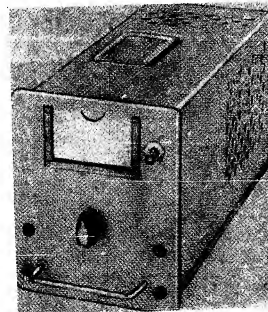
Набор цепей обратных связей состоит из входных сопротивлений  $Z_1$  и емкости  $C$ , включенной между входом и выходом усилителя. В качестве емкости  $C$  в схеме применен прецизионный стирофлексный конденсатор типа КПГ емкостью  $1 \text{ мкф} \pm 0,2\%$ . Сопротивления  $R_1, R_2, R_3$  позволяют производить интегрирование с постоянными времени  $RC = 1, 0,1, 0,01 \text{ сек}$ . В БОУ-3 в качестве сопротивлений  $R_1, R_2, R_3$  используются прецизионные проволоочные сопротивления, имеющие номинал соответственно  $1 \text{ мгом}$ ,  $100 \text{ ком}$  и  $10 \text{ ком}$ , выполненные с точностью  $0,1\%$ . Установка на блоке необходимой постоянной времени осуществляется переключателем  $\Pi$ , имеющим четыре фиксированных положения. Три положения соответствуют значению  $\frac{1}{RC} = 1,10$  и

100. В четвертом положении, обозначенном на схеме ДВ, сетка входной лампы усилителя в режиме интегрирования непосредственно выводится на клемму  $Кл_2$ . (На лицевой панели блока эта клемма имеет также гравировку ДВ). В этом положении переключателя в качестве входных сопротивлений можно использовать внешние сопротивления, расположенные в специальной дополнительной колодке БОУ. Подключение внешних сопротивлений может быть необходимо при использовании интегрирующего звена одновременно и для суммирования нескольких величин, а также при интегрировании с постоянной времени, не равной  $1,0,1$  или  $0,01 \text{ сек}$ .

Схема задания начальных условий в БОУ-3 состоит из 2 сопротивлений  $R_4$  и  $R_5$  по  $200 \text{ ком}$  и контактов  $1P_1$  и  $2P_1$  управляющего реле  $P_1$ . (Потенциометр задания начальных условий вынесен в блок управления секции операционных усилителей БУСОУ). Реле  $P_1$  типа 13С-40 производит переключение схемы из режима задания начальных условий в режим интегрирующего звена. Управление срабатыванием реле  $P_1$  производится с общего пульта управления модели МПТ-9. Кроме того, имеется возможность отключения реле  $P_1$  на каждом блоке БОУ-3 тумблером  $K$ .

Сопротивление  $R_6 = 5,6 \text{ мгом}$ , подключенное к сетке усилителя постоянного тока, исключает возможность выхода усилителя из режима в момент перелета контактов реле  $P_1$ , так как при этом цепь сетки усилителя не оказывается разомкнутой.

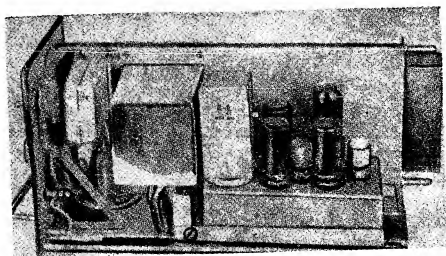
Для соединения схемы БОУ-3 с общей схемой секции операционных усилителей СОУ служит 20-контактная штеккерная вилка  $Ш_6$ , через ко-



Фиг. 4.2.

торую подводится питание усилителя УПТ-6 и напряжение 26 в питания управляющего реле; из блока БОУ-3 в БУСОУ выходят цепи задания начальных условий и регулирования нуля усилителя, а также выводятся вход и выход блока для соединения с наборным полем модели.

Конструктивно блок БОУ-3 выполнен в виде отдельного легкоъемного прибора, который можно вставить в любую ячейку секций операционных усилителей. Его внешний вид и вид со снятым кожухом показаны на фиг. 4.2 и 4.3. На стальной части шасси укреплены основные элементы схемы: стирофлексный конденсатор в защитном экране, реле 13С-40, проволочные сопротивления (сопротивления  $R_1, R_2$  крепятся на специальных двухконтактных колодочках, а  $R_3$  крепится на колодочках



Фиг. 4.3.

с одним лепестком) и специальная крепежная плата для усилителя УПТ-6. Сам усилитель выполнен отдельным легкоъемным блоком, который соединяется с общей схемой БОУ-3 штеккерным соединением.

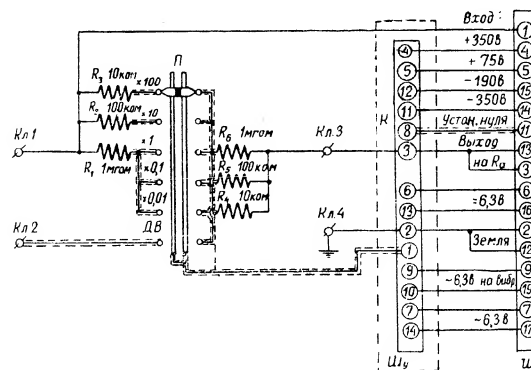
Сопротивление анодной нагрузки выходного каскада УПТ-6 вынесено на каркас секции СОУ с целью уменьшения нагрева блока. Для этой же цели в кожухе блока сделаны вентиляционные отверстия. На лицевой панели блока расположены переключатель, специальные клеммы, имеющие гравировку «вход», «выход», «ДВ» (дополнительный вход), и земляная клемма, служащие для соединения с другими блоками модели в соответствии со структурной схемой задачи внешней шнуровой коммутацией, тумблер включения и отключения управляющего реле, ручка для удобства установки блока в каркас. Для обозначения блока в соответствии с обозначениями, принятыми в структурной схеме задачи, на лицевой панели сделан кармашек.

На задней стенке каркаса расположен выходной 20-контактный штеккер. Все детали блока защищены легкоъемным кожухом, который крепится к шасси одним невыпадающим винтом.

## 2. Блок операционного усилителя БОУ-4

Операционный усилитель БОУ-4 в модели МПТ-9 выполняет операции умножения, инвертирования, а при подключении внешних входных сопротивлений обратной связи и операции суммирования.

Принципиальная электрическая схема БОУ-4 приводится на фиг. 4.4.



Фиг. 4.4.

По своему устройству он представляет собой усилитель постоянного тока с активными сопротивлениями обратных связей  $Z_1$  и  $Z_2$ . В БОУ-4 так же, как и в БОУ-3, используется усилитель с малым дрейфом типа УПТ-6.

Набор активных сопротивлений  $R_1-R_6$  позволяет устанавливать с помощью переключателя  $\Pi$  коэффициенты усиления 0,01, 0,1, 1, 10, 100. В качестве сопротивлений  $R_1-R_6$  используются сопротивления типа ВС-2 бт, подогнанные к номиналу, указанному на схеме, с точностью 0,1% с помощью подгоночных катушек.

В положении переключателя, обозначенного на схеме ДВ, сетка входной лампы усилителя подключается на клемму Кл.2, при этом блок БОУ-4 может выполнять операцию суммирования при использовании в качестве входных сопротивлений внешних сопротивлений, расположенных в дополнительной колодке БОУ.

Через 20-контактную штеккерную вилку Ш.0 производится соединение схемы БОУ-4 с общей схемой секции СОУ: подаются цепи питания

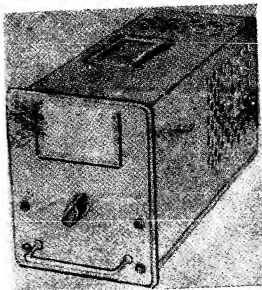


усилителя УПТ-6 с напряжениями  $+350$  в,  $-350$  в,  $+75$  в,  $-190$  в,  $6,3$  в постоянного тока,  $6,3$  в переменного тока (с одним заземленным полюсом) и  $6,3$  в переменного тока (от незаземленного источника), входы и выходы БОУ-4 и цепь регулировки нуля усилителя.

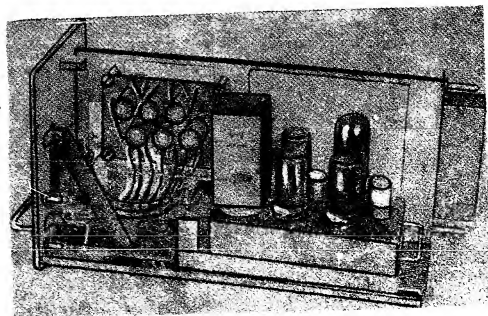
Конструктивно блок БОУ-4 оформлен аналогично БОУ-3. Эти два блока являются для ячеек секции СОУ взаимозаменяемыми. Внешний вид БОУ-4, а также вид его со снятой крышкой показаны на фиг. 4.5 и 4.6.

На стальном шасси установлена крепежная плата для усилителя УПТ-6. Сопротивления  $R_1-R_6$  смонтированы на специальной гетинаксовой плате. На лицевой панели расположен переключатель  $\Pi$ , положения которого отмечены гравировкой ДВ 0,01, 0,1, 1, 10, 100.

Анодное сопротивление выходной лампы усилителя с целью уменьшения нагрева БОУ-4 вынесено на каркас секции СОУ. Детали блока



Фиг. 4.5.



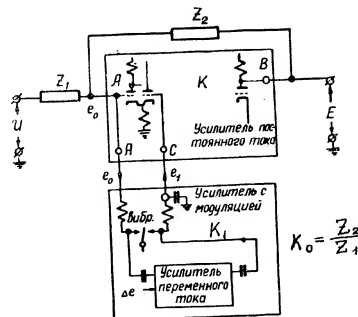
Фиг. 4.6.

защищены лёгкосъемным кожухом, который крепится к шасси одним невыпадающим винтом.

## § 2. УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА УПТ-6

### 1. Принципиальная схема прибора

Усилитель типа УПТ-6 является комбинацией усилителя постоянного тока с обратной связью и усилителя с модуляцией. Усилитель УПТ-6 представляет собой электронную статическую систему регулирования, обладающую малым дрейфом нуля и позволяющую усиливать сигналы достаточной для работы частоты без амплитудных и фазовых искажений.



Фиг. 4.7.

На фиг. 4.7 представлена скелетная схема усилителя. Он работает следующим образом. На один из контактов вибратора подается напряжение с точки  $A$  — сетки входной лампы усилителя постоянного тока. Модулированное вибратором напряжение усиливается усилителем переменного тока, а затем выпрямляется, фильтруется и подается на усилитель постоянного тока в точке  $C$ .

Точка  $C$  представляет собой второй вход усилителя постоянного тока, причем коэффициент усиления усилителя по входу  $C$  равен коэффициенту усиления усилителя по входу  $A$ .

Для того чтобы пульсация напряжения, обусловленная работой прерывателя, не подавалась бы на вход усилителя в точке  $C$ , в схеме предусмотрен фильтр, обеспечивающий очень небольшой коэффициент пульсации. Вход усилителя  $A$  также защищен от пульсаций, обусловленных работой прерывателя, достаточно надежным фильтром.

Выходное напряжение усилителя УПТ-6 при работе в режиме усилительного звена с коэффициентом усиления  $K_0$  связано с напряжением на входе усилителя следующей зависимостью:

$$E = K_0 U + \frac{1 + K_0}{1 + K_1} \left( -\frac{E}{K} - \Delta E - \Delta e \right), \quad (4.1)$$

где  $E$  — выходное напряжение,

$U$  — входное напряжение,

$\Delta e$  — дрейф напряжения усилителя постоянного тока, приведенный ко входу,

$\Delta E$  — дрейф напряжения усилителя с модуляцией на выходе.

Первый член правой части уравнения определяет требуемое усиление, а второй член представляет собой напряжение дрейфа нуля на выходе усилителя. Погрешность при работе усилителя типа УПТ-6 определяется вторым членом выражения. В целях уменьшения ошибки значения  $K$  и  $K_1$  были взяты достаточно большими, так что при практическом применении усилителя вторым членом выражения с достаточной степенью точности можно пренебречь. В этом случае выражение 4.1 может быть записано в следующем виде:

$$E = -K_0 U = -\frac{Z_2}{Z_1} U. \quad (4.2)$$

Выражение 4.2 показывает, что усиление усилителя типа УПТ-6 определяется отношением импеданса обратной связи ко входному импедансу и что практически ухода напряжения на выходе усилителя почти не имеется.

Схема стабилизации нуля, примененная в усилителе, не только уменьшает уход нуля, имеющий место в усилителе постоянного тока, но и повышает эффективность усиления всей схемы. Общий коэффициент усиления всей схемы (без обратных связей) равен:

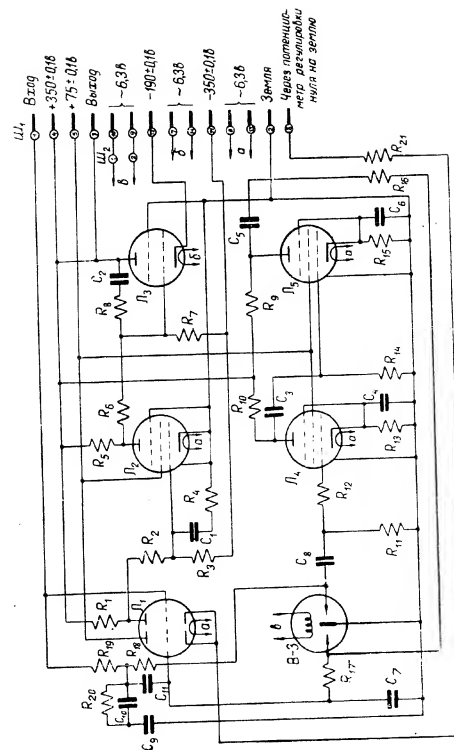
$$K_0(j\omega) = k(j\omega) + k(j\omega) k_1(j\omega). \quad (4.3)$$

Следовательно, для сигналов постоянного тока коэффициент усиления  $K_0(j\omega)$  чрезвычайно велик, а для сигналов, имеющих значительные частоты колебаний, он не ниже, чем у обычного усилителя постоянного тока. Принципиальная схема усилителя типа УПТ-6 приведена на фиг. 4.8.

Усилитель постоянного тока состоит из трех каскадов усиления — схема его соответствует схеме усилителя типа УПТ-4. Сопряжение между отдельными каскадами усилителя осуществляется путем применения схемы с дополнительным источником питания — 350 в.

Первый каскад усилителя собран на двойном триоде 6Н9С с большим коэффициентом усиления и представляет собою дифференциальный усилительный каскад, в котором два входных сигнала смешиваются таким образом, что на выходе первого каскада получается сигнал, линейно связанный с разностью обоих входных сигналов.

В целях регулировки нуля напряжения на выходе усилителя типа УПТ-6, в цепи катода первого каскада предусмотрено переменное сопротивление  $R_{пер}$ , которое вынесено из усилителя. Второй каскад усилителя собран на пентоде 6Ж8, обладающем большим коэффициентом усиления.



Фиг. 4.8.

Третий каскад усиления собран на лучевом тетраде 6ПЗС. Катод лампы 6ПЗС имеет потенциал — 190 в, что необходимо для обеспечения нулевого потенциала на аноде этой лампы при отсутствии напряжения на входе усилителя. Сопротивление анодной нагрузки выходной лампы вынесено из усилителя.

Для подавления генерации, которая возникает в усилителе при включении обратных связей, в нем установлены *RC*-фильтры.

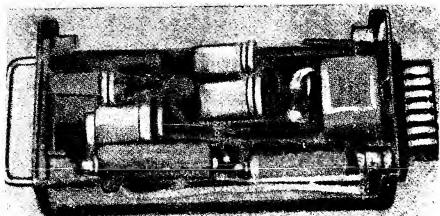
Корректирующий усилитель переменного тока состоит из двух идентичных каскадов усиления, собранных на пентодах типа 6Ж8 с большим коэффициентом усиления.

Для модуляции входного напряжения усилителя применен вибратор, который приводится в действие от источника переменного тока частоты 50 гц и работает на удвоенной частоте (100 гц), так как он не поляризован, т. е. не имеет постоянного магнита. Этот принцип работы вибратора снижает возможность ухода напряжения постоянного тока на выходе усилителя, обусловленного помехами от наводки напряжения возбуждения вибратора. Синхронное выпрямление напряжения на выходе усилителя переменного тока осуществляется этим же вибратором. В целях устранения возбуждения в усилителе переменного тока при конструировании вибратора были предприняты меры по взаимному экранированию контактов.

Кроме того, в тех же целях упорные контакты вибратора регулируются таким образом, что при перелете среднего контакта они замыкаются друг с другом, вследствие чего их цепь всегда оказывается заземленной.

## 2. Конструктивное оформление усилителя

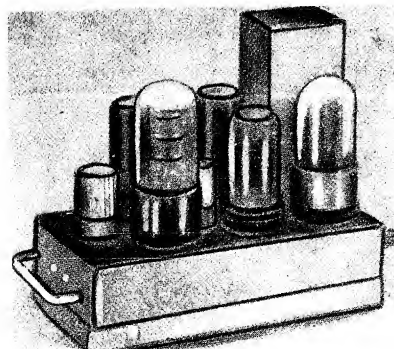
Внешний вид усилителя УПТ-6 показан на фото фиг. 4.10. Вид на усилитель со снятым кожухом приведен на фиг. 4.9. Как видно из при-



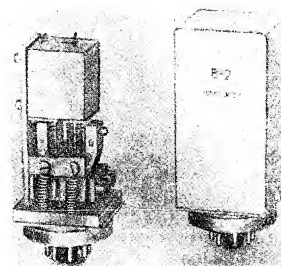
Фиг. 4.9.

веденных фотоснимков, все элементы усилителя укреплены на жестком стальном шасси. Монтаж прибора жесткий. Все сопротивления (типа

МЛТ) схемы и конденсаторы подпаяны непосредственно к выводам ламповых панелек. Монтаж и элементы схемы защищены стальным кожухом, который крепится к шасси четырьмя невыпадающими винтами.



Фиг. 4.10.



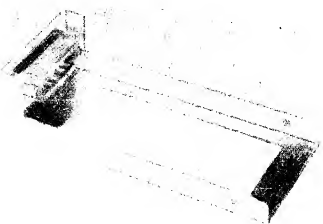
Фиг. 4.11.

Для соединения с внешней схемой и источником питания в передней части шасси усилителя расположена четырнадцатиконтактная штек-

керная вилка. Внешний вид вибратора, который был разработан для данного типа усилителя, и вид на вибратор со снятым кожухом приведены на фото фиг. 4.11.

Средний контакт вибратора изготовлен из бериллиевой бронзы и жестко укреплен одним концом в стойке. На свободном конце пластинки укреплен якорь из мягкой стали. Якорь приводится в колебательное движение катушкой возбуждения, которая питается от напряжения 6,3 в переменного тока.

При колебании средний контакт вибратора, на котором укреплен контакт, попеременно прижимается то к правому, то к ле-



Фиг. 4.12.

вому контакту, неподвижно укрепленным на стойке. Оба указанных контакта, равно как и контакт на подвижном контакте, изготовлены из специальных сплавов.

Вибратор снабжен восьмиштырьковым цоколем и устанавливается на шасси усилителя с помощью панельки для радиоламп; габаритные размеры усилителя типа УПТ-6 (с установленным вибратором)  $184 \times 78 \times 131$  мм.

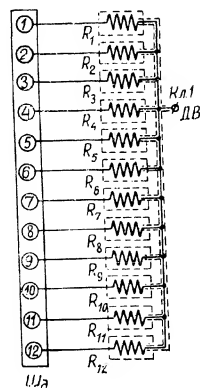
В целях удобства монтажа и обеспечения легкосъемности каждый выпускаемый усилитель снабжен крепежной платой с пружинным запором, на которой установлено четырнадцатиконтактное штеккерное гнездо. Внешний вид крепежной платы показан на фиг. 4.12.

### § 3. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ КОЛОДКА БОУ

Дополнительная колодка БОУ применяется в модели в тех случаях, когда какой-либо блок операционного усилителя должен производить суммирование нескольких величин. В дополнительной колодке находятся входные сопротивления обратной связи суммирующего звена.

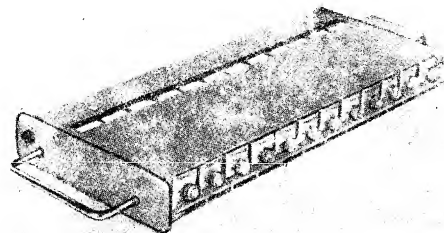
Электрическая схема дополнительной колодки БОУ приведена на фиг. 4.13. Входные сопротивления, обозначенные на схеме  $R_1$ — $R_{12}$  и со-

стоящие из сопротивлений типа ВС-2 и добавочной катушки, подгоняются к номиналу с точностью  $\pm 0,1\%$ .



Фиг. 4.13.

Внешний вид дополнительной колодки показан на фиг. 4.14. Колодка рассчитана на 12 сопротивлений, каждое из которых помещается в легко-



Фиг. 4.14.

съемной коробочке, на которой гравировкой указывается номинальная величина сопротивления. С монтажом колодки сопротивление соеди-

няется с помощью двухконтактного штеккера. На фиг. 4.15 показан внешний вид коробочки с сопротивлением, а также вид на монтаж сопротивления внутри коробочки со снятой верхней крышкой.

На стальном шасси колодки укреплены 12 штеккерных гнезд. На передней панели колодки находится специальная клемма  $ДВ$ , на которую выводится выходная цепь сопротивления  $R_1-R_{12}$  колодки. Соединение клеммы колодки  $ДВ$  со входом  $ДВ$  одного из блоков операционных усилителей производится с помощью шнуровой коммутации.

На задней стенке колодки расположена двенадцатиконтактная штеккерная вилка, через которую 12 дополнительных входных цепей соединяются с клеммами секции  $СОУ$ . Все колодки выполняются взаимозаменяемыми и могут вставляться в любую ячейку секции  $СОУ$ .



Фиг. 4.15.

Набор сопротивлений в колодке по номиналу и по количеству производится в соответствии с решаемой задачей.

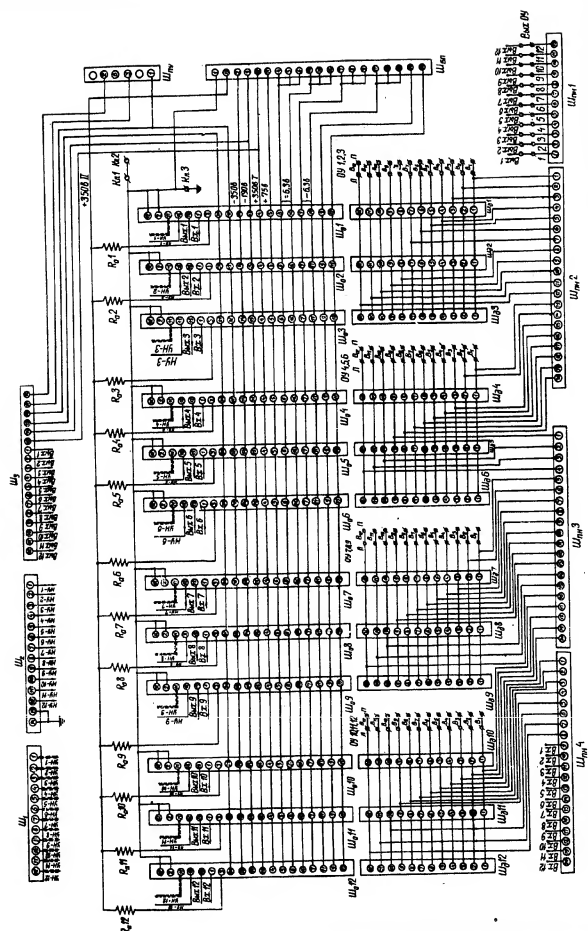
#### § 4. СЕКЦИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ $СОУ$

Секция операционных усилителей  $СОУ$  объединяет 12 блоков операционных усилителей, 12 дополнительных колодок БОУ и блок управления  $СОУ$ .

Принципиальная электрическая схема  $СОУ$  представлена на фиг. 4.16. Схема включает в себя 12 контактных гнезд  $Ш_{01}-Ш_{02}$  для сопряжения с блоками БОУ-3 или БОУ-4, двенадцать контактных гнезд  $Ш_{11}-Ш_{12}$  для сопряжения с дополнительными колодками БОУ и анодные сопротивления  $R_{a1}-R_{a2}$  выходного каскада УПТ-6. Кроме того, секция  $СОУ$  имеет 48 дополнительных входов, по 12 входов на каждый горизонтальный ряд ячеек БОУ, клеммы которых дублируются слева и справа на лицевой панели секции. На схеме дополнительные входы обозначены через  $ОУ-1-2-3$ ,  $ОУ-4-5-6$ ,  $ОУ-7-8-9$ ,  $ОУ-10-11-12$ . На каркас секции вынесены и дублированы клеммы выходов  $ОУ$  для удобства набора задачи внешней шнуровой коммутацией.

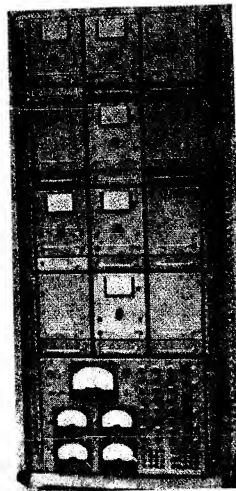
Питание усилителей УПТ-6 и БОУ подается через 14-контактный штеккер  $Ш_{0n}$ . Питание 26 в на управляющие реле  $P_y$  в БОУ, а также питание вибраторов в УПТ-6 подается через 6-контактный штеккер  $Ш_{0y}$ .

Выход и все входы каждого операционного усилителя через штеккеры  $Ш_{1n}-Ш_{1n}$  соединяются внешними кабелями с наборным полем модели. Все эти штеккеры, а также анодные сопротивления  $R_{a1}-R_{a12}$  расположены на задней стенке каркаса. В левом вертикальном ряду в качестве анодных сопротивлений  $R_{a1}$ ,  $R_{a4}$ ,  $R_{a7}$ ,  $R_{a10}$  используются сопро-

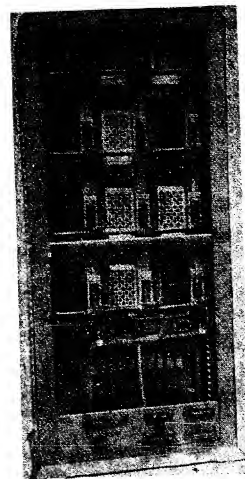


Фиг. 4.16.

тивления типа ПО-40 *вт*, 40 *ком*, в среднем ряду сопротивления  $R_{22}$ ,  $R_{23}$ ,  $R_{25}$ ,  $R_{211}$  берутся типа ПО-40 *вт*, 20 *ком*, в правом вертикальном ряду сопротивления  $R_{23}$ ,  $R_{26}$ ,  $R_{29}$ ,  $R_{212}$  — 40 *вт*, 10 *ком*.



Фиг. 4.17.



Фиг. 4.18.

Внешний вид СОУ представлен на фиг. 4.17, а вид со стороны монтажа со снятыми задними крышками на фиг. 4.18. Каркас секции — стальной, сварной конструкции; он имеет 12 ячеек для операционных усилителей, которые расположены в 4 горизонтальных рядах по 3 ячейки в каждом ряду. Под ячейками блоков ОУ находятся ячейки дополнительных колодок. Ячейки пронумерованы от 1 до 12.

В нижней части секции расположен БУСОУ, для сопряжения с которым служат штекеры, обозначенные на схеме Ш<sub>1</sub>, Ш<sub>2</sub>, Ш<sub>3</sub>.

В тех случаях, когда в какую-либо ячейку не вставлен блок БОУ, ячейка закрывается заглушкой.

С боку и с задней стороны каркас секции закрывается крышками с жалюзи для вентиляции. Крышки крепятся к каркасу 4 винтами. На задней крышке, около штекеров, имеется гравировка согласно принципиальной схеме секции.

## § 5. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ СОУ

Блок управления СОУ (БУСОУ) служит для контроля и управления работой блоков операционных усилителей, а также для визуального наблюдения выходных напряжений БОУ.

На фиг. 4.19 приведена полная принципиальная электрическая схема БУСОУ. Схема блока состоит из следующих основных узлов:

- 1) схемы контроля и подстройки нулей операционных усилителей УПТ-6,
- 2) схемы задания начальных условий в БОУ-3,
- 3) схемы защиты и сигнализации,
- 4) измерительных приборов, служащих для визуального наблюдения величин  $x_1(t)$ .

### 1. Схема контроля и подстройки нулей усилителей постоянного тока УПТ-6

В блоке управления СОУ производится контроль нулей всех 12 усилителей БОУ и подстройка с помощью потенциометров  $R_{н1}—R_{н12}$  типа СП-1-1500 ом.

Контроль нулей усилителей производится при положении переключателя  $P_1$  (ключ типа Ш) в позиции «пр. нуля». При этом выходы всех усилителей переключателем  $P_2$  последовательно подключаются к прибору  $V_5$  (класс 1), имеющему три предела измерения: 100 в, 2,5 в и 0,1 в. Переключение на различные пределы измерения производится ключом  $P_3$ . Тумблер  $K_2$  выключает прибор.

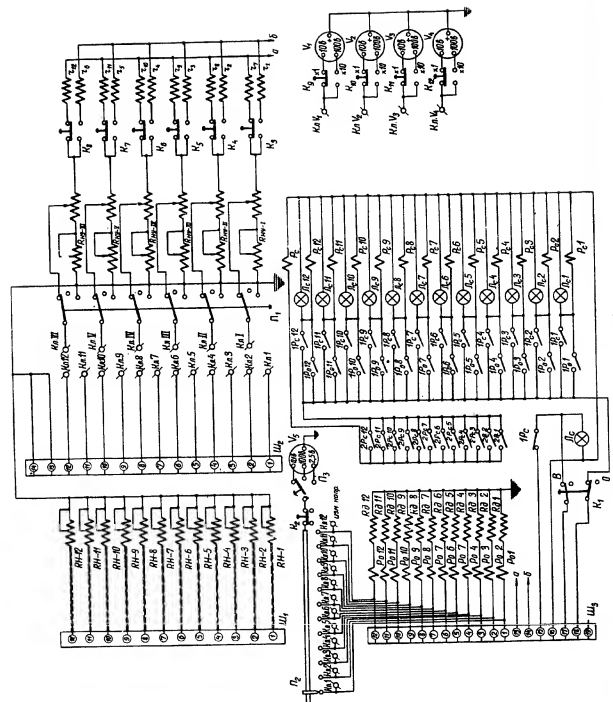
### 2. Схема задания начальных условий

Схема задания начальных условий имеет шесть соосных потенциометров  $R_{н1}—R_{н12}$ . Напряжение питания  $+350$  в и  $-190$  в от блока питания ЭСВ-1 подается со штеккера  $Ш_3$  через добавочные сопротивления  $r_1—r_6$  и  $r_7—r_{12}$ , номиналы которых выбраны таким образом, чтобы соосными потенциометрами можно было задать начальные условия в пределах  $\pm 100$  в.

Движки соосных потенциометров соединены с шестью клеммами, обозначенными на схеме  $K_{н1}$  и  $K_{н12}$ . Рядом с этими клеммами расположены 12 клемм  $K_{н1}—K_{н12}$  («начальн. усл.»), соединенные с входными цепями задания начальных условий БОУ. Задание начальных условий на соответствующий блок ОУ производится внешней шнуровой коммутацией между клеммами  $K_{н1}—K_{н12}$  и  $K_{н1}—K_{н12}$ .

С помощью тех же соосных потенциометров можно задавать и постоянные возмущения, соединяя клеммы  $K_{н1}—K_{н12}$  с клеммами «входы операционных усилителей», расположенными на каркасе СОУ.

Контроль задания начальных условий и постоянных возмущений осуществляется с помощью того же прибора  $V_5$ , что и контроль нулей усилителей, в положении ключа  $P_1$  «нач. усл.». Выходы БОУ к прибору  $V_5$  подключаются и при задании начальных условий с помощью переключателя  $P_2$ . Знак начальных условий изменяется тумблерами  $K_3—K_6$ .



Для задания начальных условий с точностью выше 1% к выходам операционных усилителей, на которых задаются начальные условия, необходимо подключить внешний прецизионный измерительный прибор.

### 3. Схема защиты и сигнализации

Схема защиты и сигнализации включает в себя 12 реле-ограничителей  $P_{01}—P_{12}$  с добавочными сопротивлениями  $R_{21}—R_{212}$ , включенных на выходы БОУ. Реле-ограничитель срабатывает в том случае, если выходное напряжение усилителя превышает  $\pm 105 \pm 5$  в. При этом оно включает цепь сигнального реле  $P_{01}—P_{12}$ . Сигнальные реле контактами  $1P_{01}—1P_{12}$  самоблокируются, а контактами  $2P_{01}—2P_{12}$  включают красную сигнальную лампочку  $L_{01}—L_{12}$  и общее сигнальное реле  $P_c$ , нормально замкнутый контакт которого  $1P_c$  размыкает цепь управляющих реле в блоках БОУ-3. Рабочий процесс при этом автоматически прекращается.

### 4. Измерительные приборы, служащие для визуального наблюдения величин $x_i(t)$

Блок управления позволяет визуально наблюдать за изменением напряжения на выходах сразу четырех операционных усилителей по измерительным приборам  $V_1—V_4$ , установленным на лицевой панели блока. Приборы  $V_1—V_4$  имеют два предела измерения  $\pm 10$  в и  $\pm 100$  в с нулем посередине. Переключение пределов измерений производится тумблерами  $K_1—K_{12}$ .

Входные клеммы приборов соединены с клеммами  $KAV_1—KAV_4$ , расположенными на лицевой панели рядом с 12 выходными клеммами блоков операционных усилителей. На схеме эти клеммы обозначены  $K_{01}—K_{12}$  («измер. напр.»). Соединение приборов с выходами усилителей производится шнуровой коммутацией между указанными клеммами.

В том случае, если секция операционных усилителей используется для решения задач только с постоянными коэффициентами и без пульта управления модели (ПУ), включение в работу управляющих реле  $P_y$  в блоках операционных усилителей производится тумблером  $K_1$ , при этом загорается сигнальная зеленая лампочка.

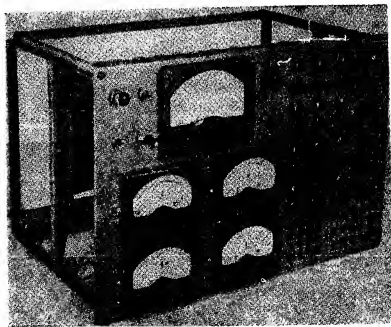
Конструктивно БУ СОУ выполнен в виде отдельного легкосъемного блока, который задвигается по направляющим в нижний отсек каркаса СОУ и крепится к нему 4 винтами со стороны лицевой панели.

Внешний вид БУ СОУ со стороны лицевой панели дан на фиг. 4.20, а со стороны монтажа — на фиг. 4.21. Внутри блока на специальной гетинаксовой плате размещены все реле. На плате нанесена гравировка реле, согласно обозначениям, принятым на принципиальной схеме. На второй гетинаксовой плате сгруппированы сопротивления  $r_1—r_6$  типа ВС 2 вт, 12 ком и сопротивления  $r_7—r_{12}$  ВС 2 вт, 33 ком.

Детали на лицевой панели размещены следующим образом. Справа, рядом с тумблерами, задающими знак начальных условий, расположены шесть соосных потенциометров задания начальных условий. Под ними расположена группа клемм, имеющая гравировку «начальн. усл.», для осуществления шнуровой коммутации при задании начальных условий или постоянных возмущений.

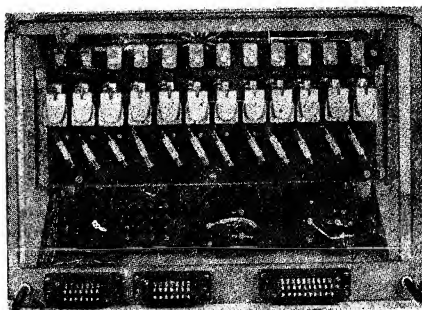


В середине установлены 12 потенциометров подстройки нуля усилителей, над каждым потенциометром — красная сигнальная лампочка,



Фиг. 4.20.

указывающая выход за допустимые рабочие пределы выходного напряжения соответствующего операционного усилителя. Слева, сверху, уста-



Фиг. 4.21.

новлен прибор  $V_2$  контроля нуля и задания начальных условий; слева от него — тумблер выключения прибора и телефонный ключ  $P_3$ , пере-

ключающий прибор на разные пределы измерения. Справа от прибора расположен переключатель  $P_2$ , подсоединяющий к прибору один из 12 выходов ОУ и ключ на два положения — «пров. нуля» и «нач. усл.», обозначенный на принципиальной схеме  $P_1$ .

Слева, внизу, расположены четыре прибора  $V_1-V_4$  с тумблерами  $K_1-K_{12}$ , переключающими приборы со шкалы 10 в на шкалу 100 в. Справа, внизу, расположена группа клемм с гравировкой «измер. напр.» для подключения приборов к тем или иным усилителям.

Тумблер  $K_1$  включения 26 в на управляющие реле БОУ-3 и лампочка контроля работы помещены в левом верхнем углу.

На задней стенке блока расположены 2 четырнадцатиконтактных штеккера  $Ш_1$  и  $Ш_2$  и 1 двадцатиконтактный штеккер  $Ш_3$  для соединения со схемой секции СОУ.

#### § 6. СМЕННЫЕ БЛОКИ ПЕРЕМЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СБ-5-0 И СБ-5-П

Сменные блоки переменных коэффициентов СБ-5-0 и СБ-5-П служат в модели для воспроизведения графиков переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в виде ступенчатых кривых и умножения их на величину  $x_1$ .

Основным блоком переменного коэффициента является блок СБ-5-0, с помощью которого осуществляется набор ординат графика, задание его масштаба  $K_{a_{ij}}$  и развертка коэффициента во времени. Развертка коэффициента может быть как равномерной, так и неравномерной, т. е. величины интервалов разбиения могут быть как равными, так и заданными по определенной программе. Задание режима развертки коэффициента в блоке СБ-5-0 производится с помощью переключателя ПР-РР на лицевой панели секции СПК и программного блока переменного коэффициента СБ-5-П.

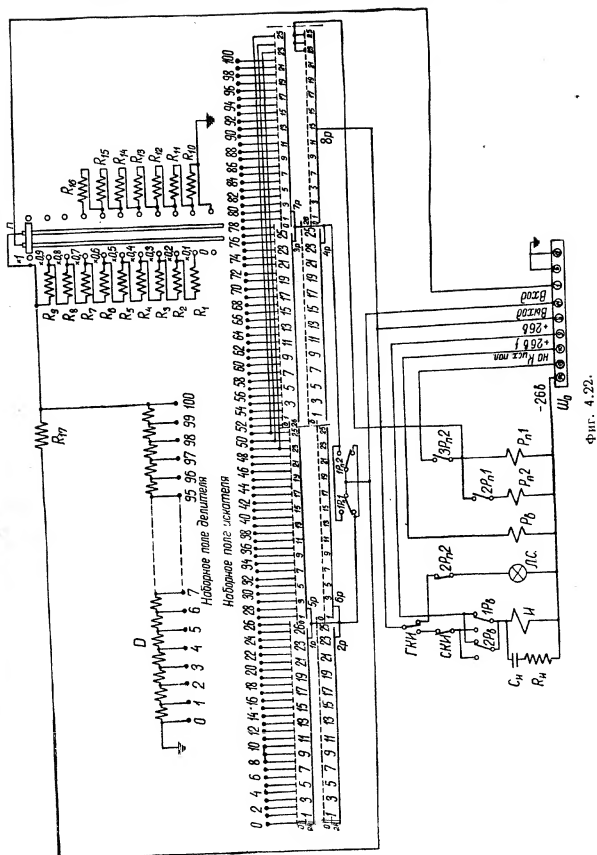
Основными элементами блока СБ-5-0 (фиг. 4.22) являются один стосекционный делитель напряжения  $D$ , масштабный делитель напряжения, состоящий из сопротивлений  $R_1-R_{16}$  и переключателя  $P$ , и шаговый переключатель  $I$  (искатель типа ШИ 50(4)).

Для переключения полей искателя на 49-51 шаг служат реле (типа МРЦ)  $P_{11}$  и  $P_{12}$ . Реле  $P_{11}$  предназначается для переключения схемы блока СБ-5-0 в режим вывода щеток искателя в исходное положение на нулевую ламель. Об исходном положении схемы свидетельствует горение сигнальной лампочки  $L$ .

Для компенсации погрешности, обусловленной конечностью выходной нагрузки, в схеме блока между 100-м выводом делителя напряжения  $D$  и выходом схемы (11-й вывод штеккерной колодки) включено компенсационное сопротивление  $R_n$ .

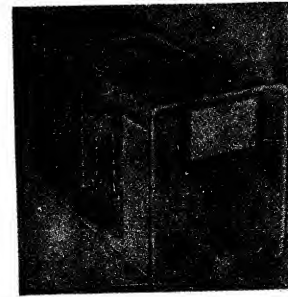
Входом схемы, к которому подключается величина  $x_1$ , является 1-й вывод штеккерной колодки.

Через 9-й вывод штеккерной колодки  $Ш_0$  на обмотку электромагнита искателя поступают импульсы напряжения 26 в постоянного тока, которые могут подаваться либо в соответствии с заданной на блоке СБ-5-П программой, либо с постоянной частотой, устанавливаемой на пульте управления.



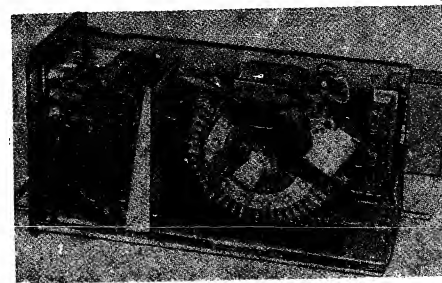
Фиг. 4.22.

Набор значений коэффициентов  $a_{ij}(t)$  производится на наборном поле, имеющем 101 вывод делителя напряжения  $D$  и 101 вывод с поля ламелей искателя  $I$ . При этом график переменного коэффициента по оси



Фиг. 4.23.

времени разбивается на 100 интервалов, а значения его ординат набираются с точностью  $\pm 0,5\%$  значения масштабного коэффициента  $K_{a_{ij}}$

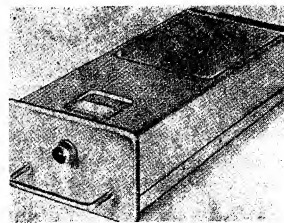


Фиг. 4.24

Масштабный коэффициент  $K_{a_{ij}}$  может принимать значения в диапазоне от 0 до 1 через 0,1.

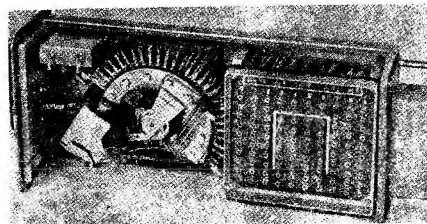


При включении схемы блоков переменных коэффициентов в работу на пять выводов наборного поля от датчика импульсов поступают из пульта управления модели импульсы напряжения постоянного тока частоты  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4 и 8 гц. На обмотку электромагнита искателя блока СБ-5-П



Фиг. 4.27.

также подается напряжение постоянного тока, пульсирующее с одной из указанных частот. Равномерно перемещаясь по ламелям, щетки программного искателя присоединяют обмотку электромагнита искателя блока СБ-5-0 к тому или иному выводу датчика импульсов.



Фиг. 4.28.

Если какой-либо вывод наборного поля искателя блока СБ-5-П не присоединен ни к одному из выводов датчика импульсов, то это означает, что на интервале, соответствующем данной ламели, не будет сделано ни одного переключения щеток искателя основного блока. Если этот вывод присоединен к выводу «1», то при частоте переключений программного искателя 1 гц основной искатель сделает одно переключение и т. д.

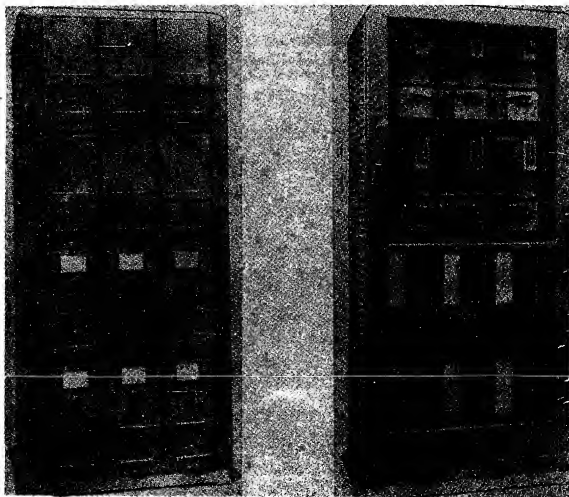
Сопряжение блока СБ-5-П с остальной частью модели производится с помощью четырнадцатиконтактного штеккерного соединения, имеющего направляющие штыри.

Конструктивно блок СБ-5-П выполнен в виде отдельного прибора. Внешний вид его показан на фиг. 4.27. Вид на блок со снятым кожухом дан на фиг. 4.28.

Все элементы блока смонтированы на стальном шасси, на лицевой панели которого находится сигнальная лампочка. Сверху блок закрывается крышкой, на которой расположен специальный кармашек для его обозначения. Наборное поле блока прикрывается легкоъемной крышкой с пружинным замком.

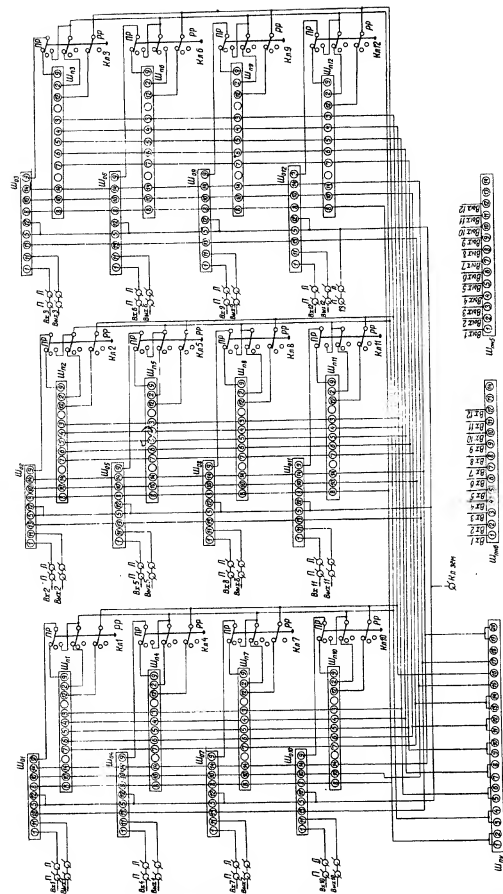
#### § 7. СЕКЦИЯ ПЕРЕМЕННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ СПК

Секция переменных коэффициентов СПК обслуживает в модели 12 основных блоков переменных коэффициентов СБ-5-0 и 12 программных блоков переменных коэффициентов СБ-5-П.



Фиг. 4.29

Фиг. 4.30.



Фиг. 4.31.



Принципиальная электрическая схема секции СПК представлена на фиг. 4.31. Основными элементами схемы являются 24 четырнадцатиконтактных штеккерных гнезда  $Ш_{01}—Ш_{02}—Ш_{03}—Ш_{04}$ , 2 четырнадцатиконтактных штеккерных вилки  $Ш_1$  и  $Ш_2$ , одна двадцатиконтактная штеккерная вилка  $Ш_{12}$ , 12 телефонных ключей  $K_{01}—K_{12}$  и 48 клемм  $Вх.1—Вх.12$ ,  $Вых.1—Вых.12$ . С помощью двадцатиконтактной вилки  $Ш_{12}$  производится соединение секции с пультом управления модели.

Штекеры  $Ш_1$  и  $Ш_2$  предназначены для соединения секции с наборным полем ПН. Штекеры  $Ш_{01}—Ш_{04}$  и  $Ш_{12}—Ш_{14}$  служат для соединения со схемой секции блоков СБ-5-0 и СБ-5-П. На клеммы  $Вх.1—Вх.12$  подаются входы блоков СБ-5-0, а на клеммы  $Вых.1—Вых.12$  — их выходы. С помощью телефонных ключей  $K_{01}—K_{12}$  задается режим работы основного и программного блоков. В среднем положении ключа оба блока отключены. В положении «РР» программный блок отключен, а основной блок работает с равномерной разверткой графика переменного коэффициента. В положении ключа «ПР» оба блока переменного коэффициента включаются в работу и развертка графика переменного коэффициента, набранного в блоке СБ-5-0, производится по программе, заданной в блоке СБ-5-П.

Конструктивно секция СПК представляет собой стальной каркас, имеющий 24 ячейки (12 ячеек для блоков СБ-5-0 и 12 ячеек для блоков СБ-5-П). Ячейки расположены в четыре ряда, в каждом из которых находится по 3 ячейки для блоков СБ-5-0 и по 3 ячейки для блоков СБ-5-П. Вдаются блоки в ячейки секции по направляющим. Для точного сопряжения штеккеров секции и блоков переменных коэффициентов у каждого штеккера секции имеются ловители, в которые входят направляющие штыри сменных блоков. Штекеры  $Ш_1$ ,  $Ш_2$ ,  $Ш_3$  и одна земляная клемма находятся на задней стенке секции. Ключи  $K_{01}—K_{12}$  находятся на лицевой панели под ячейкой блоков СБ-5-П.

В секции предусмотрен комплект заглушек, с помощью которых со стороны лицевой панели закрываются свободные ячейки.

С задней стороны и с боков каркас секции закрывается крышками, имеющими жалюзи для вентиляции.

На фиг. 4.29 и 4.30 представлен общий вид секции со стороны лицевых панелей и вид на монтаж сзади.

#### § 8. ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛИ МПТ-9

Пульт управления модели МПТ-9 выполняет следующие функции: пуск модели, управление работой сменных блоков СБ-5-0 и СБ-5-П, остановку схемы, получение отметки времени, счет импульсов и возврат схемы в исходное положение.

Принципиальная электрическая схема пульта управления дана на фиг. 4.32. Схема пуска построена таким образом, чтобы можно было точно синхронизировать начало работы модели и маркировку времени с импульсами, вырабатываемыми датчиком или генератором импульсов.

Генератор импульсов состоит из прерывателя и мощных повторителей — контакторов типа К-100А и К-50А. На выходе генератора импульсов одновременно создается 5 напряжений постоянного тока 26 в, пульсирующих с частотами  $1/2$ , 1, 2, 4 и 8 гц.

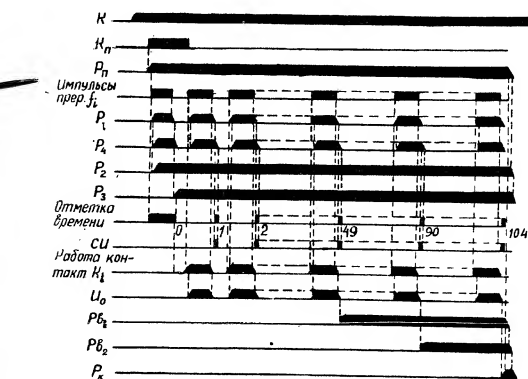
Работа генератора импульсов поясняется фиг. 4.33. Выбранные частоты позволяют иметь продолжительность рабочего процесса равной 200 сек., 100 сек., 50 сек., 25 сек и 12,5 сек.

Начало процесса интегрирования в схеме модели должно точно соответствовать началу паузы между импульсами стандартной частоты, установленной на пульте управления переключателем  $\Pi_1$ .

Последовательность работы элементов схемы наглядно показывает временной график ее работы (фиг. 4.34).

Пуск схемы производится в следующей последовательности: тумблером  $K_1$  включается напряжение 26 в на схему пульта управления (при этом загорается сигнальная лампочка  $L_1$ ), тумблером  $K_2$  включается в работу электродвигатель прерывателя СД-60.

Нажимается кнопка пуска  $K_n$ . При этом срабатывает и блокируется через собственный контакт ( $IP_n$ ) пусковое реле и напряжение +26 в



Фиг. 4.34

подается на контакты прерывателя  $K_{112}$  —  $K_2$ . С помощью переключателя  $\Pi_1$  напряжение выбранной стандартной частоты подается на реле

$P_1$ , которое начинает повторять импульсы установленной частоты. При первом импульсе через контакт  $IP_1$  срабатывает реле  $P_2$ , которое своим контактом  $IP_2$  блокируется на весь период работы схемы.

В начале следующей паузы, когда реле  $P_1$  отпустит свой якорь, срабатывает реле  $P_3$ , которое контактом  $IP_3$  блокируется, одновременно размыкая цепь маркировки времени, что соответствует отметке начала процесса. С этого времени +26 в подается через штеккеры  $Ш_1$ — $Ш_4$  на управляющие реле в блоках операционных усилителей и на сигнальную лампочку  $L_2$  на пульте управления. При решении систем линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами ключ  $K_3$  ставится в позицию «перем.», и импульсы прерывателя через контакт  $2P_2$  поступают в обмотку контактора  $K_{n2}$ . С этого момента вступает в работу генератор импульсов и в секции СПК подаются импульсы напряжения = 26 в частот 1/2, 1, 2, 4 и 8 гц по цепям, обозначенным на схеме через а, б, в, г, д, соответственно через контакты контакторов  $1K_{n1/2}$ ,  $1K_{n1}$ ,  $1K_{n2}$ ,  $1K_{n3}$ ,  $1K_{n4}$ . Кроме того, с движка переключателя  $\Pi_1$  импульсы напряжения установленной стандартной частоты поступают на искатель  $I_0$  пульта управления, а также через штеккеры  $Ш_5$ — $Ш_8$  подаются в секции переменных коэффициентов.

В случае решения задач с постоянными коэффициентами ключ  $K_3$  ставится в позицию «пост.» и тем самым отключает работу контакторов. Для переключения выходной цепи с одного поля ламелей искателя на другую в программном блоке СБ-5-П установлены переключающие реле  $P_{n1}$ ,  $P_{n2}$ .

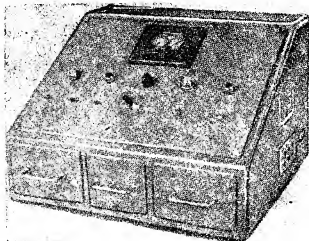
Управление работой этих переключающих реле производится с помощью искателя  $I_0$ , установленного в пульте управления. На 49-м шаге искателя  $I_0$  срабатывает реле  $P_{n1}$ , которое контактом  $IP_{n1}$  блокируется, а контактом  $2P_{n1}$  подготавливает цепь реле  $P_{n2}$  и одновременно подается +26 в на переключающие реле  $P_{n1}$ ,  $P_{n2}$  в блоках СБ-5-П, которые, таким образом, на 49-м шаге искателей переключают выходные цепи этих блоков с одного поля ламелей искателя на другое.

На 90-м шаге искателя  $I_0$  в пульте управления срабатывает реле  $P_{n3}$ , блокируется контактом  $1P_{n3}$ , а контактом  $2P_{n3}$  подготавливает цепь для срабатывания реле  $P_{n4}$ . В положении щетки искателя на нулевой ламели срабатывает реле  $P_{n4}$  и разрывает цепь +26 в. Все реле контакторы прекращают работу — схема возвращается в исходное положение, о чем сигнализирует зеленая сигнальная лампочка  $L_{сз}$ , включенная через нормально замкнутый головной контакт искателя  $2ГКИ_0$  и нормально замкнутый контакт реле  $P_{n4}$ , который исключает ее загорание в момент прохождения щеток искателя нулевой ламели во время рабочего цикла схемы.

Для возврата искателей сменных блоков СБ-5-0 и СБ-5-П, а также искателя пульта управления в исходное положение в любой момент времени нажимается кнопка  $K_{нв}$ . При этом срабатывает реле  $P_{нв}$  и через контакты  $2P_{нв}$ ,  $СКИ_1$  и  $1ГКИ_0$  +26 в подается на обмотку искателя  $I_0$ , а через контакт  $1P_{нв}$  — на вспомогательные реле  $P_{нв}$  в блоках СБ-5-0, СБ-5-П (цепь «ГК»). На нулевой ламели напряжение +26 в на искателе  $I_0$  отключается головной контактной группой  $1ГКИ_0$ , искатель останавливается в исходном положении и загорается зеленая лампочка  $L_{сз}$ .



Для получения отметки времени в пульте управления предусмотрена цепь, состоящая из последовательно включенных нормально замкнутого контакта  $3P_1$  и нормально разомкнутого контакта  $2P_1$ . В начале паузы, в момент, когда реле  $P_1$  уже отпустило якорь, а реле  $P_4$  еще удерживает свой якорь, на короткое время напряжение  $+26\text{ в}$ , через добавочные сопротивления  $R_2, R_3, R_4$ , поступает на клеммы  $\Gamma_4$ . Первая нулевая отметка времени, как уже говорилось, появляется в момент размыкания нормально замкнутого контакта  $1P_3$  и точно соответствует началу процесса интегрирования. Затем отметки времени повторяются с выбранной



Фиг. 4.35.

стандартной частотой. Схема позволяет вести счет этим импульсам с помощью типового счетчика импульсов типа СИ-1. Подача импульсов на счетчик осуществляется синхронно с импульсами отметки времени с помощью контактов реле  $P_4$  и  $P_1$ . Перед пуском шкала счетчика импульсов должна быть установлена в исходное положение на нулевое деление.

В схеме имеется ряд искрогасительных контуров  $C_1, C_2, C_3$  в цепи контактов звездочки прерывателя,  $C_4, C_5, C_6$  — в цепи контакта контактора  $1K_{18}$  и  $C_7, C_8$  — в цепи искателя  $H_0$ .

В качестве сопротивлений  $r_1-r_8$  взяты малоомные проволочные сопротивления, в качестве емкостей  $C_1-C_8$  использованы конденсаторы типа КБГ-МН.

Конструктивно пульт управления выполнен в виде самостоятельного прибора, лицевая панель которого расположена под небольшим углом к горизонтальной плоскости.

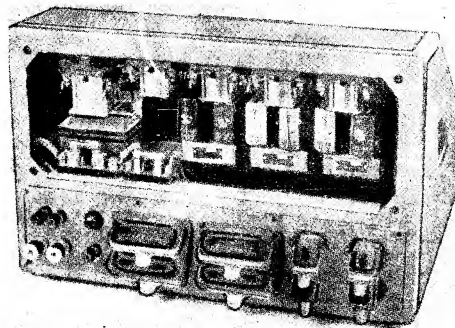
Общий вид пульта со стороны лицевой панели показан на фиг. 4.35, а с задней стороны со снятыми крышками — на фиг. 4.36.

На лицевой панели пульта расположены: тумблер включения постоянного напряжения  $26\text{ в}$  с сигнальной лампочкой, тумблер включения  $127\text{ в}$  и неоновая лампочка, слева — кнопки «пуск», «остан.», «исх. пол.» и две сигнальные лампочки. Посредине находится переключатель частоты и ключ, имеющий позиции «пост.», «перем.».

Над ними расположен счетчик импульсов. Внутри блока на специальной плате размещены все реле и контакторы  $K, K_{1/2}, K_{11}, K_{12}, K_{14}$ . На плате выгравированы их обозначения согласно принципиальной схеме. В качестве реле  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_{11}, P_{12}$  применяется реле типа 8С-3, а в качестве реле  $P_5, P_6, P_7, P_8, P_{11}, P_{12}$  — реле типа 13С-40.

На задней стенке блока, расположены: 4 двадцатиконтактных штеккера для соединения пульта управления с секциями СПК, 4 шестиконтактных штеккера для соединения с секциями СОУ, 2 клеммы, к которым подводится питание  $26\text{ в}$ , 2 клеммы  $127\text{ в}$  — питания прерывателя, три предохранителя и одна земляная клемма.

С правой стороны блока размещены три пары клемм подачи отметки времени на регистрирующие шлейфовые осциллографы.



Фиг. 4.36.

В виде отдельных блоков оформлены: блок прерывателя, блок искателя и блок контактора  $K_{18}$ . Эти три блока вдвигаются по направляющим в соответствующие ячейки и соединяются со схемой пульта штеккерными соединениями (на принципиальной схеме не показаны).

Слева расположен блок искателя, в котором установлен и искрогасящий контур  $r_7, C_8$ . Все цепи выводятся на четырнадцатиконтактный штеккер.

В среднюю ячейку вставляется блок контактора  $K_{18}$ . Искрогасящий контур  $r_6, C_7, C_8$  установлен вне блока с обратной стороны лицевой панели пульта.

Блок прерывателя (правая ячейка) состоит из синхронного двигателя СД-60. Ось двигателя через шестеренчатую передачу 2:1 приво-

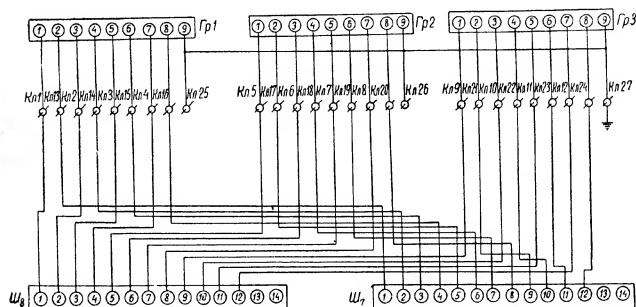
дит во вращение валик, на котором укреплены 5 дисков с различным числом радиальных вырезов 1, 2, 4, 8 и 16. Так как скорость вращения синхронного двигателя равна 60 об/мин., то частота прерывания напряжения 26 в получается равной  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 4 и 8 гц. В блоке прерывателя расположены искрогасящие контуры  $r_1$ ,  $C_1-r_2$ ,  $C_2$  и сопротивление  $R_1$  типа ВС 2 вт, 100 ком.

Со схемой пульта блок прерывателя соединяется с помощью четырехнадежностного штеккера.

#### § 9. МАГАЗИН ДЕЛИТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ТИПА МД

Магазин делителей МД служит для ввода постоянных коэффициентов в схему модели МПТ-9 и рассчитан на 12 коэффициентов.

Магазин делителей разбит на три отдельных блока (фиг. 4.37). На фиг. 4.38 приведена принципиальная электрическая схема блока делителей, состоящая из 4 одинаковых ячеек, каждая из которых предназна-



Фиг. 4.37.

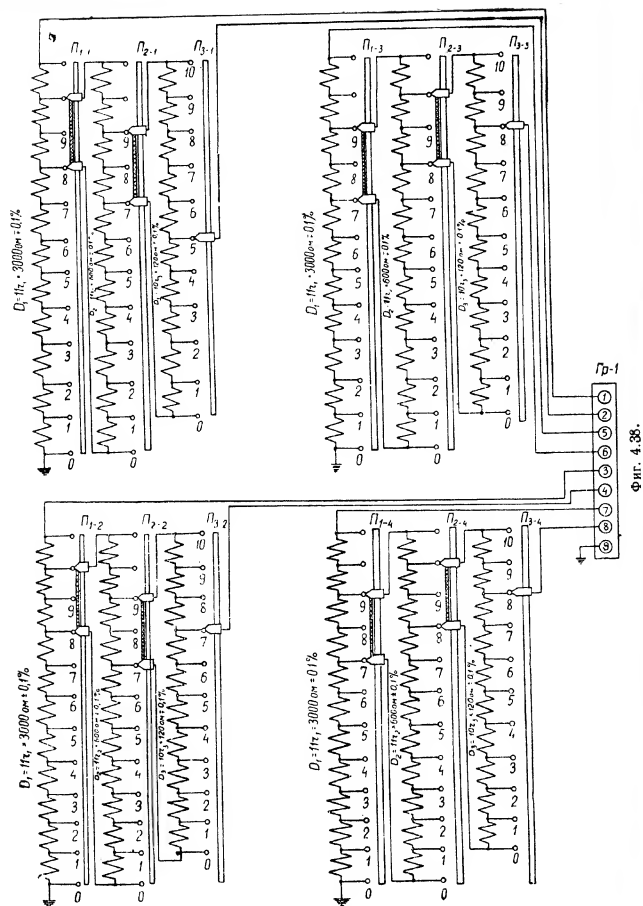
начается для ввода одного постоянного коэффициента и представляет собой магазин сопротивлений, состоящий из трех делителей:

Д1 — 11 сопротивлений по 3000 ом,

Д2 — 11 сопротивлений по 600 ом,

Д3 — 10 сопротивлений по 120 ом.

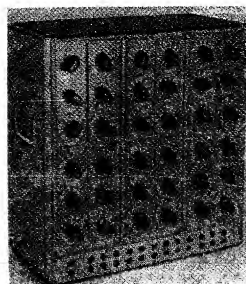
Делители соединены между собой таким образом, что каждый последующий делитель шунтирует две секции предыдущего делителя, причем сопротивление каждого последующего делителя равно сопротивлению 2 секций предыдущего. При таком соединении делителей выдерживается условие постоянства входного сопротивления блока при любом



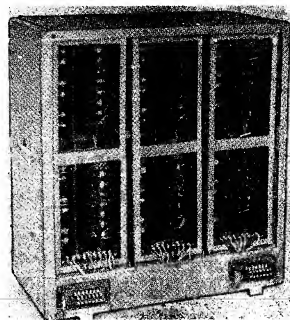
Фиг. 4.38.

положении ручек переключателя. Блок постоянного коэффициента позволяет устанавливать коэффициент с точностью 0,1% от 0 до 1 через 0,001. Через гребенку  $\Gamma p-1$  входы и выходы коэффициентов соединяются со схемой всей секции МД.

Внешний вид МД представлен на фиг. 4.39, вид со стороны монтажа одного блока делителей дан на фиг. 4.40.



Фиг. 4.39.



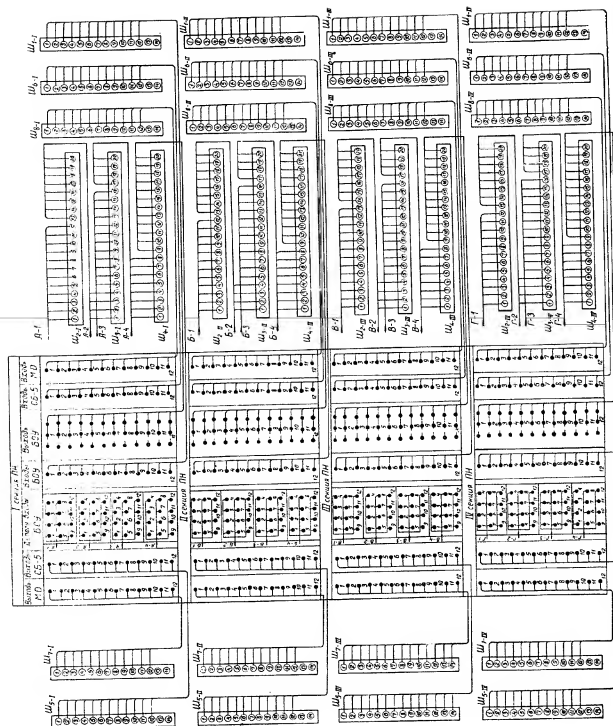
Фиг. 4.40.

Делители  $D1, D2, D3$  каждого коэффициента смонтированы на специальных гетинаксовых платах, на которых нанесена гравировка. На лицевой панели расположены переключатели. Блок делителей вдвигается по направляющим в каркас и крепится к нему со стороны лицевой панели 4 винтами.

На лицевой панели каркаса, внизу, находятся клеммы «вход» и «выход» постоянных коэффициентов, а на задней стенке — 2 четырнадцатиконтактных штеккера для подачи входов и выходов МД на наборное поле модели. Соединение монтажа каркаса МД с монтажом блока делителей производится перепайкой на гребенках  $\Gamma p_1 - \Gamma p_2$ . Конструкция МД позволяет ставить две секции одна на другую.

#### § 10. НАБОРНОЕ ПОЛЕ МОДЕЛИ

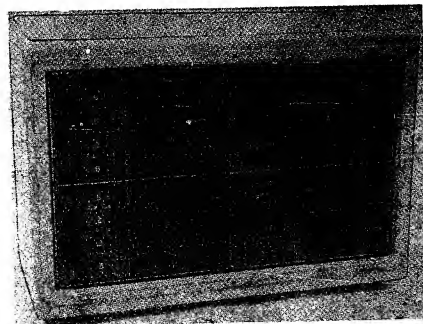
Наборное поле модели МПТ-9 служит для удобного соединения блоков модели между собой. Электрическая схема наборного поля приводится на фиг. 4.41. Наборное поле разделено на 4 секции (I—IV). На каждую секцию с помощью внешних соединительных кабелей подаются следующие цепи:



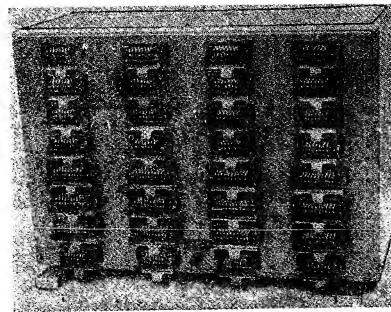
Фиг. 4.41.

по  
ля  
сх  
од

1. С секции операционных усилителей через штеккер Ш<sub>1</sub> подаются 12 выходов БОУ, а через штеккеры Ш<sub>2</sub>, Ш<sub>3</sub>, Ш<sub>4</sub> — 12 входов БОУ и 48 дополнительных входов.



Фиг. 4.42.



Фиг. 4.43.

2. С секции СПК через штеккер Ш<sub>5</sub> подаются 12 входов блока СБ-5-0, а через штеккер Ш<sub>6</sub> — 12 выходов этих блоков.

3. С секции МД через штеккер Ш<sub>6</sub> подаются 12 входов постоянных коэффициентов и через штеккер Ш<sub>7</sub> — 12 выходов постоянных коэффициентов.

Со штеккеров цепи идут на соответствующие гнезда, расположенные на коммутационной панели. Все цепи соединяют один вывод штеккера с одним гнездом, за исключением цепей, соответствующих выходам БОУ, которые один вывод штеккера соединяют с 12 гнездами на коммутационной панели. Конструктивно наборное поле оформлено в виде отдельного самостоятельного блока, внешний вид которого со снятой верхней крышкой дан на фиг. 4.42.

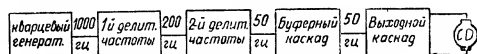
Вид на блок сзади представлен на фиг. 4.43. Гнезда укреплены на специальной плате, прикрытой сверху гетинаксовой платой, на которой дана гравировка в соответствии с обозначениями, принятыми на принципиальной схеме.

Гнезда на наборном поле используются такие же, как и во всей модели МПТ-9, со специальной пружиной, обеспечивающей надежный контакт с одноконтактным штеккером коммутационных шнуров.

На задней стенке блока расположены штеккерные вилки в 4 ряда по 8 штук. Штеккеры снабжены гравировкой в соответствии с принципиальной схемой. Соединение гнезд на коммутационном поле производится с помощью соединительных шнуров по заранее подготовленным таблицам.

#### § 11. СПЕЦИАЛЬНЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР СКГ-2

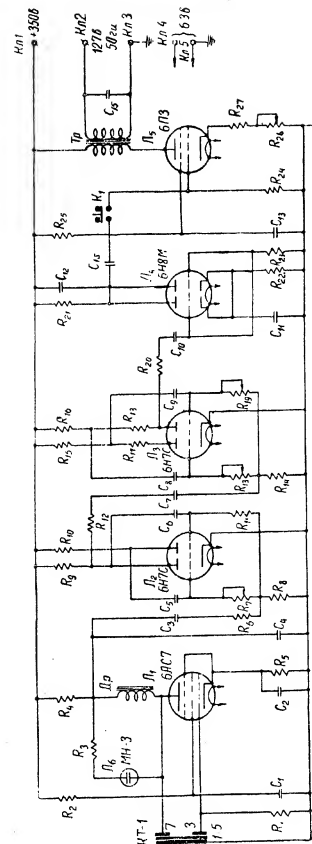
Специальный кварцевый генератор СКГ-2 применяется в модели для питания синхронных моторчиков специального генератора импульсов. Основными свойствами, характерными для него, являются кварцевая стабилизация частоты и мощный трансформаторный выход. Блок-схема генератора показана на фиг. 4.44.



Фиг. 4.44.

Схема генератора работает следующим образом. Переменное напряжение с выхода кварцевого генератора стабилизированной частоты 1000 гц подается на вход первого делителя частоты, который производит ее пятикратное деление. Благодаря этому с выхода 1-го делителя частоты на вход 2-го делителя подается напряжение частоты 200 гц.

Второй делитель уменьшает частоту еще в 4 раза, вследствие чего на его выходе получается напряжение частоты 50 гц. В качестве 1-го и 2-го делителей частоты используются симметричные мультивибраторы, синхронизируемые внешним периодическим напряжением. Буферный каскад служит для разделения второго делителя частоты от мощного выходного каскада. К выходу последнего каскада усилителя мощности напряжения частоты 50 гц подключается синхронный моторчик специального генератора импульсов модели.



Фиг. 4.45.

Электрическая схема генератора приведена на фиг. 4.45. Первый ее каскад на лампе  $L_1$  (6AC7) вместе с кварцем (тип КТ-1), включенным между управляющей сеткой и анодом, представляет собой генератор стабильной частоты 1000 гц. Стабилизация частоты при помощи кварца общеизвестна. Стабильность частоты такого кварцевого генератора очень велика (порядка  $10^{-4}$  —  $10^{-5}$  гц), чем обеспечивается очень точная раз-  
вертка переменных коэффициентов во времени.

В случае, если для развертки переменных коэффициентов достаточна точность во времени порядка 2%, генератор импульсов модели можно питать прямо от сети переменного тока частоты 50 гц. При этом необходимость в кварцевом генераторе отпадает.

Переменная слагающая анодного тока лампы  $L_1$  создает падение напряжения на анодном дросселе этой лампы.

Зажигание неоновой лампочки, присоединенной через ограничительное сопротивление  $R_3$  к дросселю, указывает на возникновение генерации. Сопротивление  $R_3$  и емкость  $C_2$  служат для автоматического смещения рабочей точки каскада. Часть выходного напряжения генератора, снимаемая с анодного сопротивления  $R_4$ , через переходную емкость  $C_3$  подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$ . С сопротивления  $R_6$  напряжение сигнала подается одновременно на сетки обеих половин лампы  $L_2$  (6Н7С), являющейся первым делителем частоты. Подгонкой сопротивления  $R_7$  осуществляется изменение собственной частоты мультивибратора. Как уже указывалось выше, 1-й делитель настраивается на частоту 200 гц. Напряжение с выхода 1-го мультивибратора подается через сопротивление  $R_{12}$  и емкость  $C_7$  на 2-й мультивибратор, собранный на лампе  $L_3$  (6Н7С), схема которого аналогична схеме 1-го мультивибратора. Регулировка этого мультивибратора производится сопротивлениями  $R_{13}$  и  $R_{14}$ . Настройка ведется на частоту 50 гц. Таким образом, оба мультивибратора осуществляют 20-кратное деление частоты.

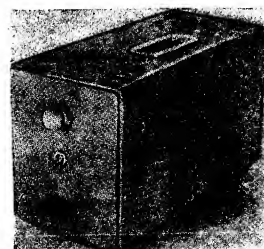
Следующий (буферный) каскад на лампе  $L_4$  (6Н8М) представляет собой обычный усилительный каскад. Емкость  $C_{12}$ , включенная параллельно анодной нагрузке ( $R_{12}$ ), служит для шунтирования высших гармоник, в результате чего подаваемые на вход каскада колебания почти прямоугольной формы принимают форму, близкую к синусоидальной.

Оконечный каскад работает на лампе  $L_5$  (6П3), анодной нагрузкой которой является первичная обмотка трансформатора. Вторичная обмотка трансформатора вместе с емкостью  $C_{16}$  образует резонансный контур, настроенный на частоту 50 гц. Ко вторичной обмотке трансформатора подсоединяется синхронный моторчик. При подаче с выхода буферного каскада напряжения сигнала на сетку лампы  $L_5$ , что производится при включении тумблера  $K_{гн}$  на лицевой панели генератора, на обмотку синхронного моторчика подается напряжение порядка 127—130 в высокостабильной частоты 50 гц, вследствие чего моторчик вращается со строго постоянной скоростью. Регулировка величины выходного напряжения производится с помощью сопротивления  $R_{16}$ .

Конструктивно кварцевый генератор оформлен в виде отдельного самостоятельного прибора (см. фиг. 4.46 и 4.47). Для соединения прибора с источниками питания (+350 в, «земля» и 6,3 в переменного тока — для накала нитей ламп) на задней стенке генератора установ-

лены три клеммы. Выводы от вторичной обмотки трансформатора подаются на две клеммы «127 в, 50 гц», из которых одна заземлена.

В схему кварцевого генератора входят следующие основные элементы: кварц типа КТ-1, 1 лампа 6AC7, 2 лампы 6Н7С, 1 лампа 6Н8М.



Фиг. 4.46.



Фиг. 4.47.

1 выходная лампа 6П3, анодный дроссель, трансформатор, сопротивления и емкости. Сопротивления и большинство емкостей расположены на 2 платах, помещенных вдоль боковых стенок шасси.

Емкости  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{11}$ ,  $C_3$  и  $C_5$  крепятся к шасси с помощью хомутиков. Монтаж прибора закрывается металлическим кожухом, имеющим вентиляционные отверстия для охлаждения.

## Глава 5

## ПИТАНИЕ СХЕМЫ МОДЕЛИ

## § 1. РЕЖИМЫ ПИТАНИЯ МОДЕЛИ

Питание электрической схемы модели МПТ-9 можно разделить на два типа:

1) питание электронных блоков модели (усилителей постоянного тока типа УПТ-6, схемы задания начальных условий и постоянных возмущений);

2) питание электромеханических блоков модели (пульта управления модели и сменных блоков переменных коэффициентов СБ-5-0 и СБ-5-П).

Питание электронных блоков модели осуществляется от электронно-стабилизированного блока питания ЭСВ-1, блока накала БПН-1 и сети переменного тока 127 в. Усилители УПТ-6 в модели являются основными потребителями электрической энергии. Для питания усилителей УПТ-6 в секцию СОУ от блока ЭСВ-1 подаются напряжения +350 в, +75 в, —350 в, —190 в постоянного тока, 6,3 в переменного тока (незаземленный источник накала), 6,3 в переменного тока (заземленный источник накала) и от блока БПН-1 подается напряжение постоянного тока 6,3 в (от заземленного источника).

На схему задания начальных условий и постоянных возмущений от блока ЭСВ-1 подаются напряжения +350 в и —190 в.

Данные величин максимального тока, потребляемого усилителем УПТ-6 от различных источников питания (в ма), приведены в таблице 1.

Таблица 1

R <sub>а</sub> (ком)	+350 в	+75 в	—350 в	—190 в	≈ 6,3 в заземл.	≈ 6,3 в незаземл.	≈ 6,3 в заземл.
40	13	2	2	17,5	1200	900	150
20	25	2	2	35	1200	900	150
10	48	2	2	70	1200	900	150

Питание электромагнитных механизмов и сигнальных лампочек модели МПТ-9 производится от источника напряжения постоянного тока 26 в ± 10%. В качестве источника напряжения постоянного тока 26 в можно использовать мотор-генератор, аккумуляторные батареи или выпрямитель, имеющий на выходе хороший фильтр. Наибольший ток, кото-

рый может потребоваться от источника постоянного напряжения 26 в, равен 30—40 а.

Таблица 2

U	+350 в	+75 в	—350 в	—190 в	≈ 6,3 в заземл.	≈ 6,3 в незаземл.	≈ 6,3 в заземл.
J (ма)	350	24	24	525	14.400	10.800	1.800

Данные величин максимального тока, потребляемого одной секцией СОУ от различных источников питания (в ма) приведены в таблице 2.

## § 2. ЭЛЕКТРОННО-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ЭСВ-1

## 1. Назначение прибора

Блок питания ЭСВ-1 (электронно-стабилизированный выпрямитель) является основным источником питания модели МПТ-9. Описание его было приведено ранее в брошюре «Электронная линейная модель типа ИПТ-4».

Прибор состоит из четырех, по существу автономных, двухполупериодных выпрямителей с фильтрами и с усилителями-стабилизаторами. Он имеет общую панель управления и контроля всеми стабилизированными напряжениями.

Один блок питания может одновременно питать до 14 усилителей постоянного тока типа УПТ, работающих в режиме, при котором максимальный выходной ток УПТ равен 10 ма, при линейности характеристики усилителя  $U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}}$ , в диапазоне изменения  $U_{\text{вых}}$  равном ± 120 в.

Блок питания имеет на выходе четыре высокостабилизированных напряжения постоянного тока, имеющих следующие номинальные значения относительно «земли»: —350, —190, +75 и +350 в.

В таблице 3 приведены значения допустимых нагрузок для этих напряжений.

Таблица 3

Напряжение (в)	Допустимая нагрузка (ма)	Напряжение (в)	Допустимая нагрузка (ма)
—350	50	+75	50
—190	550	+350	350

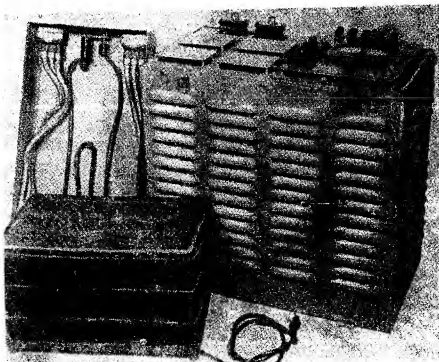
Кроме того, блок имеет два независимых выхода напряжения переменного тока 6,3 в с максимальными токами, равными 8,4 и 12,6 а, необходимыми для питания нитей накала ламп усилителей.

Блок питания включается в сеть 220 в, 50 гц через феррорезонансный стабилизатор типа ЭПА-58, коэффициент стабилизации которого составляет не менее 30. Общий коэффициент стабилизации каждого источника блока — более 1500.

Блок имеет вольтметр класса 1,5, который служит для контроля номинальных значений выходных напряжений постоянного тока.

Общий вид прибора в комплекте с ферростабилизатором дан на

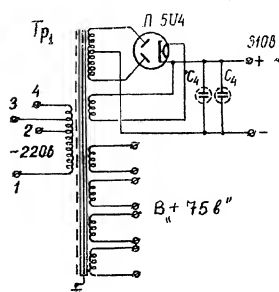
фиг. 5.1. Конструкция блока питания — блочная, дающая удобный доступ к лампам и к монтажу.



Фиг. 5.1.

Время выхода прибора на стационарный режим — 30 мин. Практически, однако, блоком можно пользоваться уже спустя 10—15 мин. после его включения. Он допускает длительную, непрерывную эксплуатацию в лабораторных условиях при полной нагрузке.

## 2. Выпрямитель с фильтрами

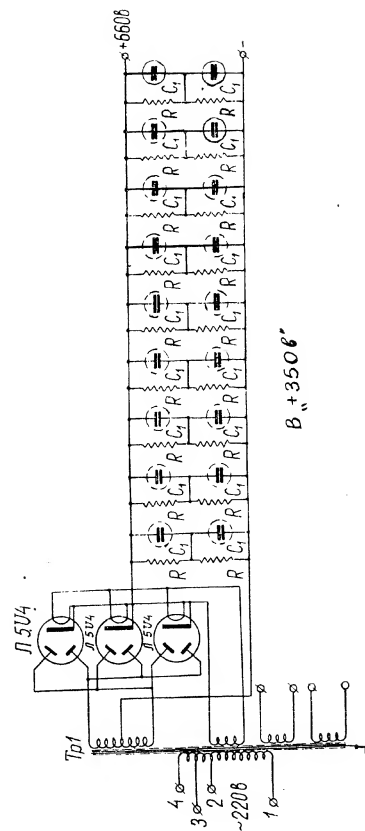


Фиг. 5.2.

На фиг. 5.2—5.5 даны электрические схемы выпрямителей с фильтрами для каждого из четырех источников. Каждый выпрямитель имеет свой силовой трансформатор. Схемы выпрямителей — двухполупериодные, на кенотронах типа 5У4. Число кенотронов определяется максимальным током, снимаемым с выпрямителей.

Выпрямители имеют чисто-емкостные фильтры, за исключением выпрямителя на —190 в, в схеме фильтра которого имеется, кроме того, дроссель.

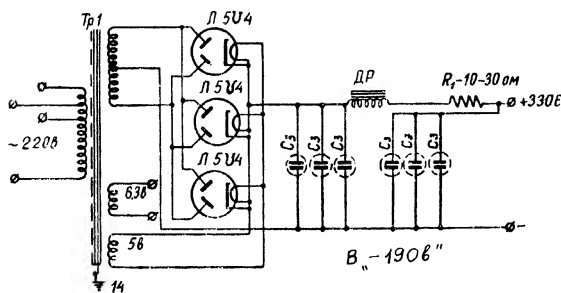
Величина емкостей фильтров различна, она пропорциональна снимаемому с источников току.



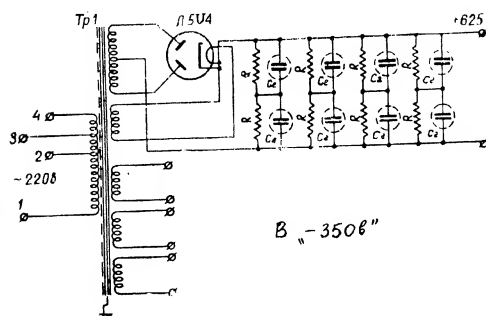
Фиг. 5.3



Силовые трансформаторы и дроссель укрепляются непосредственно на раме прибора. Электролитические конденсаторы всех фильтров размещены на общей съемной плате.



Фиг. 5.4.



Фиг. 5.5.

### 3. Усилители-стабилизаторы

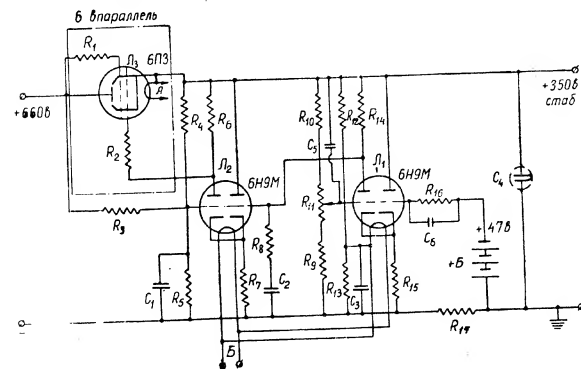
Усилители-стабилизаторы источников блока питания отличаются друг от друга (за исключением источников  $-350$  и  $+350$  в) принци-

пиальной схемой стабилизатора, обеспечивающей для каждого отдельного случая наилучшие результаты стабилизации.

#### а) Стабилизаторы $+350$ и $-350$ в

Усилители-стабилизаторы этих источников идентичны. Каждый из них является усилителем постоянного тока с катодным повторителем на выходе. Усилитель замкнут сам на себя, т. е. находится в режиме процентной отрицательной обратной связи.

На фиг. 5.6 и 5.7 даны принципиальные схемы стабилизаторов источников  $+350$  и  $-350$  в.



Фиг. 5.6.

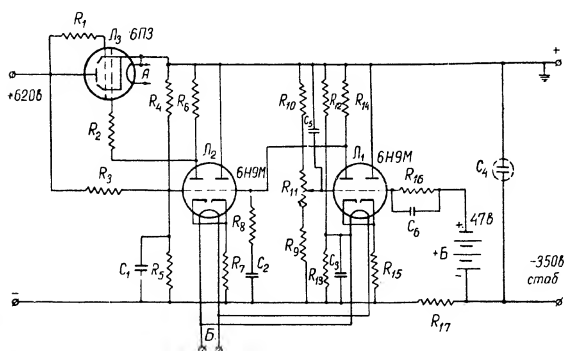
Они отличаются лишь тем, что в схеме стабилизатора  $+350$  в для получения большого тока в нагрузке, вместо одной «пропускающей» лампы катодного повторителя, включено параллельно 6 ламп того же типа (6ПЗ).

Усилитель-стабилизатор является двухкаскадным усилителем постоянного тока катодно-связанного типа на двойных триодах типа 6Н9М, имеющих большой коэффициент усиления. Эта схема при наладке не критична. Она имеет 3 сеточных входа, служащих для подачи: входного напряжения (на сетку 4 лампы  $L_1$ ), эталонного напряжения сравнения (на сетку 1 лампы  $L_2$ ), по отношению к которому осуществляется стабилизация, и части нестабилизированного напряжения выпрямителя (на сетку 4 лампы  $L_3$ ) для обеспечения стабилизации по сети.

В качестве эталонного напряжения сравнения используется напряжение сухой батареи (+Б и -Б), равное 47 в.

Сопротивление  $R_1$  служит для более точной стабилизации схемы по нагрузочному току. Нагрузочная характеристика стабилизатора падающая; введение регулировочного сопротивления  $R_1$  может сделать нагрузочную характеристику поднимающейся, а при правильном подборе величины сопротивления — почти горизонтальной.

Номинальное напряжение на выходе стабилизатора (350 в) может устанавливаться потенциометром  $R_{11}$  входного делителя усилителя.



Фиг. 5.7.

Емкости  $C_1$  и  $C_3$  введены в схему для фильтрации переменного напряжения, проникающего по цепи накала и с выхода выпрямителя. Цепочка  $RC$ , состоящая из емкости  $C_2$  и сопротивления  $R_8$ , препятствует самовозбуждению усилителя.

Подбор величины сопротивления  $R_8$  обеспечивает горизонтальность характеристики, выражающей зависимость выходного стабилизированного напряжения от колебаний напряжения сети.

Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ .

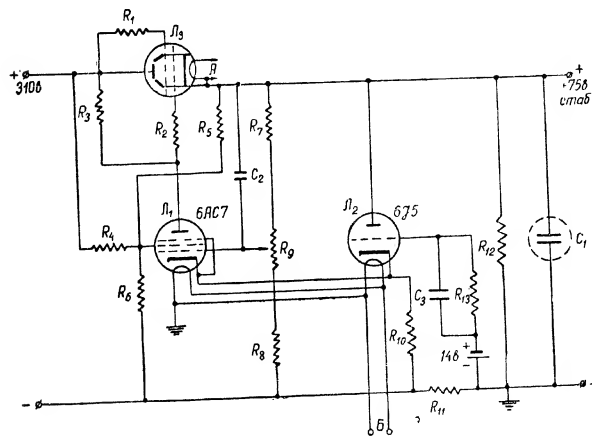
Коэффициент стабилизации данной схемы без ферростабилизатора приблизительно равен 125.

#### б) Стабилизатор + 75 в

Электрическая схема стабилизатора дана на фиг. 5.8. В этой схеме применяется однокаскадный усилитель постоянного тока на пентоде типа 6АС7 ( $\Pi_1$ ), имеющем большую крутизну. В качестве «пропускающей» лампы используется, как и в схеме + 350 в, лампа типа 6П3.

В качестве эталонного напряжения используется часть сухой батареи источника + 350 в (14 в). Это напряжение вводится в схему через катодный повторитель на лампе 6П3.

Лампы 6АС7 и 6П3 имеют общее катодное сопротивление и, таким образом, потенциал на катоде лампы 6АС7 задается постоянный. Входное напряжение усилителя поступает на четвертую сетку лампы 6АС7. На экранную сетку этой лампы через сопротивление  $R_4$  подается часть выходного нестабилизированного напряжения выпрямителя, обеспечивающая горизонтальность характеристики зависимости выходного напряжения от колебаний напряжения сети.



Фиг. 5.8.

Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ .

Сопротивление  $R_1$  так же, как и в схемах источника напряжения 350 в, служит для точной стабилизации схемы по току нагрузки.

Получение высокого коэффициента стабилизации при относительно низком значении номинального стабилизации представляет большую трудность. Данная схема значительно лучше других известных схем. Коэффициент стабилизации ее без ферростабилизатора равен примерно 50.

по  
да  
на  
ве  
ус

Весь прибор состоит из следующих частей: 1. Корпуса, 2. Батареи, 3. Транзистора, 4. Резисторов, 5. Конденсаторов, 6. Диода, 7. Выключателя, 8. Подстроечного резистора, 9. Индикатора, 10. Звукового сигнала.

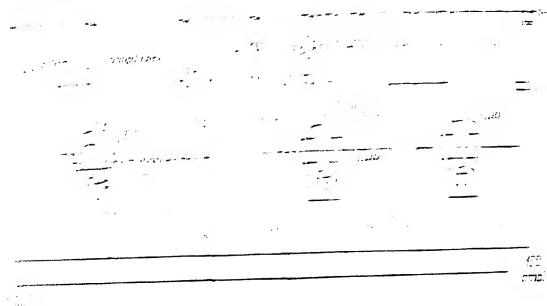


Рис. 1

Н  
Л  
С  
Х  
Н  
В  
П

Весь прибор состоит из следующих частей: 1. Корпуса, 2. Батареи, 3. Транзистора, 4. Резисторов, 5. Конденсаторов, 6. Диода, 7. Выключателя, 8. Подстроечного резистора, 9. Индикатора, 10. Звукового сигнала.

Весь прибор состоит из следующих частей: 1. Корпуса, 2. Батареи, 3. Транзистора, 4. Резисторов, 5. Конденсаторов, 6. Диода, 7. Выключателя, 8. Подстроечного резистора, 9. Индикатора, 10. Звукового сигнала.

П  
6  
Л  
78

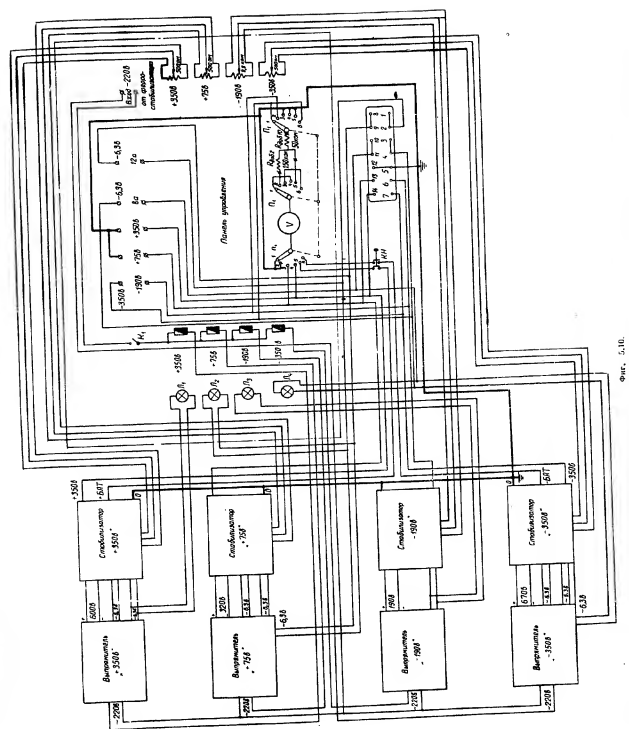
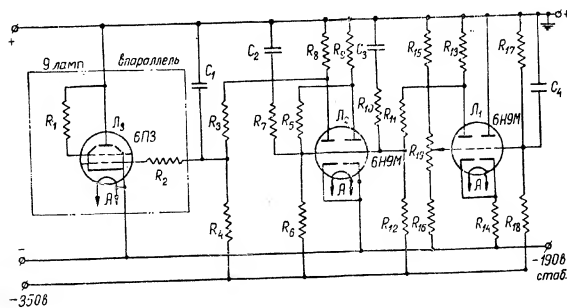


Рис. 2

## в) Стабилизатор — 190 в

Схема стабилизатора — 190 в принципиально отличается от схемы стабилизации 350 в применением, вместо схемы с пропускающей лампы, схемы с шунт-лампой, т. е., по существу, она представляет собой электронный стабилизатор. Применение этой лампы обусловлено тем, что при весьма значительном токе, который должен давать источник — 190 в, схема с шунт-лампой является наиболее экономичной и целесообразной для данного номинального напряжения на выходе.



Фиг. 5.9.

На фиг. 5.9 приведена электрическая схема стабилизатора — 190 в. Для обеспечения постоянства напряжения, подаваемого на лампы 6П3, включенные параллельно входу, ток, проходящий через эти лампы, регулируется трехкаскадным усилителем постоянного тока (на двух двойных триодах типа 6Н9М), имеющим большой коэффициент усиления. Нагрузка подключается к выходу выпрямителя параллельно шунт-лампе.

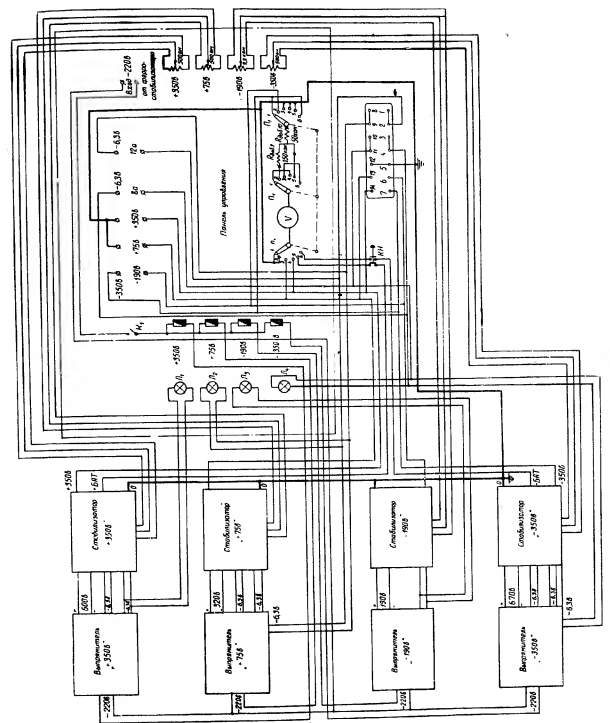
От выпрямителя потребляется максимальный и постоянный по величине ток, автоматически перераспределяемый схемой стабилизатора между внешней нагрузкой и шунт-лампами. При полной внешней нагрузке схема имеет максимально высокий к. п. д.

Применение схемы с шунт-лампой при малой ее нагрузке неэкономично и поэтому нерационально.

Лампа  $L_1$  является каскадом усиления катодно-связанного типа. Эталонное напряжение сравнения подается на одну сетку лампы от стабилизированного источника — 350 в через делитель  $R_{10}-R_{11}$ . На другую сетку лампы усилителя подается входное напряжение.

Номинальное напряжение на выходе устанавливается потенциометром  $R_{16}$ .

Лампа  $L_2$  является двухкаскадным усилителем постоянного тока, имеющим связь между каскадами через делители на сопротивлениях,



Фиг. 5.10.

подключаемых к источнику — 350 в; поэтому источник — 190 в не может работать без источника — 350 в.

Собственный коэффициент стабилизации источника — 190 в велик (около 1700), однако, ввиду непосредственной связи этого источника с источником — 350 в, дрейф на его выходе лишь вдвое меньше, чем у источника — 350 в.

Принцип построения схемы источника — 190 в и высокий коэффициент стабилизации позволяет не вводить в нее регулировки по сети и по току нагрузки.

RC — цепочки, состоящие из элементов  $C_2-R_7$  и  $C_3-R_{10}$ , и емкость  $C_1$  препятствуют самовозбуждению усилителя. Емкость  $C_1$  служит для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора.

#### 4. Общая электрическая схема прибора ЭСВ-1

На фиг. 5.10 приводится общая электрическая схема прибора ЭСВ-1, показывающая соединения его отдельных блоков.

Трансформаторы выпрямителей через свои предохранители и общий выключатель подключены к входу питания, который включается в сеть 220 в, 50 гц через ферростабилизатор типа ЭПА-58. Четыре лампочки, расположенные на панели управления прибора, сигнализируют о включенном состоянии каждого из четырех стабилизированных источников блока.

Напряжения с фильтров выпрямителей поступают на схемы стабилизаторов. Выходные стабилизированные напряжения, а также два накальных напряжения: 6,3 в; 3,4 а и 6,3 в; 12,6 а, которые берутся с трансформаторов источников — 350 и +75 в, поступают на выходные клеммы и на два выходных штеккерных гнезда.

Все потенциометры стабилизаторов, служащие для регулировки и установки выходных номинальных напряжений, вынесены на панель управления блока питания и помещаются рядом с контрольным вольтметром блока, который может подключаться переключателем поочередно к каждому из выходов стабилизатора и к выходам двух номинальных значений напряжений сухой батареей.

#### 5. Конструкция прибора

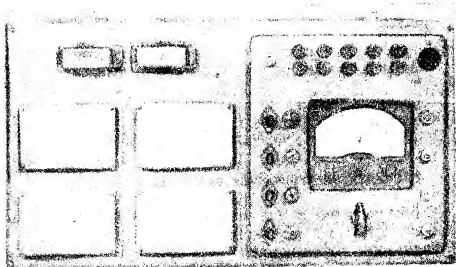
Общий вид блока питания типа ЭСВ-1 дан на фиг. 5.1. На фиг. 5.11 дан вид верхней панели прибора с панелью управления. На фиг. 5.12 дан вид блока со стороны ламп, а на фиг. 5.13 вид прибора со стороны монтажа.

На цельносварном металлическом каркасе (раме) (см. фиг. 5.12) внизу укреплены в ряд 4 силовых трансформатора источников: +350, —190, —350 и +75 в (слева направо).

В центре перед трансформаторами помещена в защитном кожухе сухая батарея эталонных напряжений, а справа от нее находится дроссель источника — 190 в и добавочное сопротивление  $R_1$  выпрямителя источника — 190 в (фиг. 5.5).

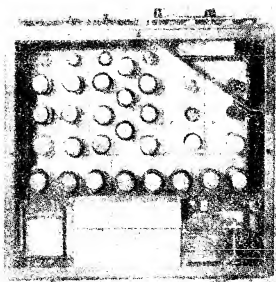
Над трансформаторами расположена плата с кенотронами. Над ней помещаются четыре съемные платы стабилизаторов.

Лампы в блоке располагаются горизонтально и крепятся пружинными ламповыми держателями.

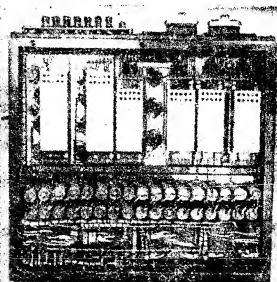


Фиг. 5.11.

С обратной стороны (со стороны монтажа), против платы с кенотронами расположена съемная плата с электролитическими конденсаторами фильтров выпрямителей (фиг. 5.13).



Фиг. 5.12.



Фиг. 5.13.

На верхней съемной плате (фиг. 5.11) находится панель управления прибором. В центре панели расположен двухшкальный контрольный стрелочный вольтметр (на 100 и 400 в) блока, а под ним ручка переключателя, служащего для подключения вольтметра к выходам стабилизаторов и к двум контролируемым напряжениям эталонных батарей.

Слева от вольтметра находятся предохранители и сигнальные лампочки трансформаторов, а справа — потенциометры установки номиналов стабилизированных напряжений.

Над вольтметром расположены клеммы выходных напряжений блока, сетевой тумблер и вилка входа шланга питания. На фото фиг. 5.1 видны два выходных штеккера, являющиеся выходами блока питания.

Для обеспечения необходимой вентиляции верхняя панель имеет «фонари», боковые стенки — жалюзи, а дно — перфорацию.

Для защиты от нагрева стрелочный вольтметр имеет кожух с асбестовой прокладкой.

**ЭЛЕКТРОННАЯ  
ЛИНЕЙНАЯ  
МОДЕЛЬ  
типа ИПТ-5**

МОСКВА

1951

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛИНЕЙНАЯ  
МОДЕЛЬ  
типа ИПТ-5

Москва

1951



## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора . . . . .	Стр. 3
Глава 1	
Назначение и основные технические характеристики электронной линейной модели типа ИПТ-5	
Глава 2	
Принципы построения схемы модели	
§ 1. Принцип действия блоков операционных усилителей . . . . .	8
§ 2. Принцип ввода коэффициентов исследуемой системы . . . . .	11
Глава 3	
Блок-схема модели и ее общее конструктивное оформление	
Глава 4	
Блоки модели	
§ 1. Операционный усилитель БОУ-2 и усилитель постоянного тока УПТ-4 . . . . .	17
§ 2. Сменный блок переменного коэффициента СБ-3 . . . . .	22
§ 3. Сменный блок постоянного коэффициента СБ-4 . . . . .	26
§ 4. Блок управления . . . . .	28
§ 5. Специальный кварцевый генератор СКГ-2 . . . . .	33
§ 6. Распределительные колодки для БОУ-2 . . . . .	37
§ 7. Распределительные колодки для СБ-3 . . . . .	39
Глава 5	
Монтаж модели	
Глава 6	
Питание модели	
§ 1. Режимы питания модели . . . . .	43
§ 2. Электронно-стабилизированный блок питания ЭСВ-1 . . . . .	44

Применение электрических моделей открывает новые большие перспективы при исследовании динамики систем автоматического регулирования, следящих систем и установок автоматического и дистанционного управления.

Особенно ценно при этом применение таких электрических моделей, которые позволяют проводить вышеуказанные исследования в натуральном масштабе времени, т. е. пригодны для сопряжения с реальными автоматическими регуляторами и другими приборами автоматического регулирования или управления.

Электронные линейные модели структурного типа, к которым относится и описываемая ниже модель ИПТ-5, вполне пригодны для проведения исследований в натуральном масштабе времени переходных процессов в диапазоне частот от долей герца до нескольких герц.

Модели структурного типа применяются обычно при моделировании частной системы, состоящей из объекта и аппаратуры регулирования или управления. Состоят они из отдельных блоков-звеньев, отображающих по своей динамике отдельные узлы объекта или вышеуказанной аппаратуры. Структурная модель, собранная из таких звеньев по частной схеме, как правило, пригодна для исследования какой-либо одной задачи, связанной с выбором оптимальной величины для того или иного физического параметра.

По своему устройству такая модель дешевле, проще и портативнее модели матричного типа (см. брошюру «Электронная линейная модель типа ИПТ-4»). Однако матричная модель (которая одновременно служит электронным интегратором) является более универсальной и более мобильной в работе.

В соответствии с идентичностью ряда блоков модели ИПТ-5 и модели ИПТ-4 соответствующие места данной брошюры повторяют аналогичные разделы брошюры «Электронная линейная модель типа ИПТ-4».

## Глава 1

НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ТИПА ИПТ-5

Электронная линейная модель типа ИПТ-5, предназначенная для исследования динамики регулируемых объектов, описываемых системами линейных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j + f_i(t) \quad (i = 1, 2, 3 \dots n), \quad (1.1)$$

где:

$x_i$  и  $x_j$  — неизвестные функции времени  $t$ ,  
 $f_i(t)$  — возмущающие воздействия,  
 $a_{ij}(t)$  — коэффициенты интегрируемой системы.

По принципу построения модель ИПТ-5 относится к моделям структурного типа и предназначена для решения частных задач при исследовании в лабораторных условиях систем автоматического регулирования.

Ниже приводятся основные технические характеристики модели ИПТ-5.

1. Модель ИПТ-5 состоит из комплекса отдельных, конструктивно не связанных блоков, из которых составляется схема модели для частного случая, в соответствии с интегрируемой системой (1.1).

В нормальный комплект модели входят: 18 блоков операционных усилителей БОУ-2 (12 основных и 6 дополнительных), 18 блоков переменных коэффициентов СВ-3, 18 блоков постоянных коэффициентов СВ-4 и блок управления моделью, а также источники питания, соединительные колодки, соединительные кабели и шнуры.

2. Каждый блок операционного усилителя может выполнять функции интегрирующего звена с основными постоянными времени  $T = 1, 0,1$  и  $0,02$  сек., усилительного звена с коэффициентом усиления  $0,001, 0,01, 0,1, 1,5, 10, 50$ , инвертирующего звена и суммирующего звена с тремя основными входами и значительным числом дополнительных входов (при присоединении дополнительных сопротивлений к сетке входной лампы усилителя).

3. Коэффициенты системы (1.1)  $a_{ij}(t)$  могут быть как постоянными, так и зависящими от времени (переменными).

Значения их на модели устанавливаются в виде произведения двух сомножителей, одним из которых является масштабный коэффициент  $K_{aj}$ , определяющий их масштаб, а другим сомножителем — коэффициент  $z_{ij}(t)$ , с помощью которого устанавливаются значащие цифры этих коэффициентов:

$$a_{ij}(t) = K_{aj} z_{ij}(t). \quad (1.2)$$

Графики переменных коэффициентов аппроксимируются с помощью кусочно-постоянных кривых (ступенчато) и строятся по так называемым узловым или опорным точкам наборной сетки на плоскости, координатными осями которой являются ось времени  $t$  и ось величин переменного коэффициента  $z_{ij}(t)$  (см. фиг. 1.1). Наборная сетка образуется в результате разбиения рабочего диапазона на 100 равных интервалов  $T_0$  по оси времени и на 200 равных интервалов (от  $-1$  до  $+1$ ) по оси  $z_{ij}(t)$ .

$T_0$  — длительность одного интервала развертки переменного коэффициента по времени — является величиной, общей для всех коэффициентов модели, и может быть установлена равной 1,5, 1,0, 0,75, 0,5, 0,25 и

Фиг. 1.1. Принцип аппроксимации графика переменного коэффициента.

0,1 сек., в зависимости от длительности исследуемого процесса. Время полного рабочего цикла модели, соответствующее 100 интервалам  $T_0$  по оси времени, при этом имеет значение 150, 100, 75, 50, 25 или 10 сек.

Для увеличения точности ввода переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  каждому из них придается дополнительный индивидуальный масштабный множитель  $K_{aj}$  таким образом, чтобы имело место равенство

$$a_{ij}(t) = z_{ij}^*(t) K_{aj} K_{M1}, \quad (1.3)$$

где:

$$z_{ij}^*(t) = z_{ij}(t) K_{aj}.$$

Коэффициент  $K_{aj}$  может иметь значения: 1, 0,75, 0,5, 0,25, 0,1. Если максимальное значение аппроксимируемого графика  $z_{ij \max}$  при  $K_{aj} = 1$  мало, то за счет уменьшения масштабного коэффициента  $K_{aj}$  можно увеличить  $z_{ij \max}$  и тем самым аппроксимировать график переменного коэффициента большим числом ступеней по оси ординат.

4. Переменные  $x_i(t)$  системы (1.1) на модели выражаются в виде мгновенных значений напряжения постоянного тока на выходе блоков операционных усилителей  $U_i(t)$ , причем диапазон их изменения лежит в пределах  $\pm 100$  в.

5. В модели предусмотрено задание девяти начальных условий переменным  $U_i(t)$  или постоянным возмущающим воздействиям.

6. Сопряжение модели ИПТ-5 с реальным регулятором производится с помощью типовых блоков операционных усилителей БОУ-2, блоков постоянных коэффициентов СБ-4 и блоков переменных коэффициентов СБ-3.

7. Точность решения системы (1.1) на модели ИПТ-5 определяется следующими основными факторами:

1) точностью выполнения математических действий блоками операционных усилителей, которая равна  $\pm 0,2\%$ ;

2) точностью задания коэффициентов  $a_{ij}(t)$  интегрируемой системы, равной  $\pm 0,5\%$  значения масштабного коэффициента;

3) дрейфом усилителей постоянного тока, который при решении системы (1.1) на модели играет роль малых возмущающих воздействий. Для усилителей УПТ-4, применяемых в блоках операционных усилителей БОУ-2, дрейф, приведенный ко входу, равен 1—2 мв за 10 мин.

## Глава 2

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМЫ МОДЕЛИ

Для решения заданной системы (1.1) линейная электронная модель должна состоять из следующих звеньев:

- а) блоков ввода постоянных и переменных коэффициентов, с помощью которых осуществляется умножение переменных  $U_i(t)$  на коэффициенты  $a_{ij}(t)$ ;
- б) суммирующих звеньев, производящих суммирование величин  $a_{ij}(t)U_j(t)$ ;
- в) масштабных звеньев, определяющих масштаб  $K_{M_i}$ , коэффициентов  $a_{ij}(t)$  каждого уравнения первого порядка системы (1.1);
- г) интегрирующих звеньев, производящих интегрирование суммы

$$K_{M_i} \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) U_j(t);$$

д) инвертирующих звеньев, с помощью которых знак при переменных  $U_i(t)$  на выходе интегрирующих звеньев изменяется на противоположный.

Операции суммирования, умножения на масштабный коэффициент, интегрирования и инвертирования в модели ИПТ-5 осуществляются блоками операционных усилителей.

## § 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ БЛОКОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Действие операционных усилителей основывается на применении усилителя постоянного тока с большим коэффициентом усиления и глубокими отрицательными обратными связями (см. фиг. 2.1).

Если усилитель постоянного тока имеет отрицательный коэффициент усиления  $k$  и бесконечно большое входное сопротивление, то уравнения, описывающие схему фиг. 2.1, могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} E(p) &= -e(p)k, \\ U(p) - e(p) &= iZ_1(p), \\ e(p) - E(p) &= iZ_2(p). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Отсюда следует, что оператор такого звена равен:

$$K(p) = \frac{E(p)}{U(p)} = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + \frac{1}{k} [Z_1(p) + Z_2(p)]}$$

или

$$K(p) = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left[ 1 + \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \right]}. \quad (2.2)$$

Как видно из выражения (2.2), оператор звена при коэффициенте усиления усилителя  $k \rightarrow \infty$  не зависит от величины  $k$  и равен

$$K(p) = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}. \quad (2.3)$$

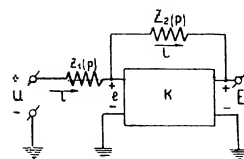
Если

$$Z_1(p) = R_1, \quad \text{а} \quad Z_2(p) = R_2,$$

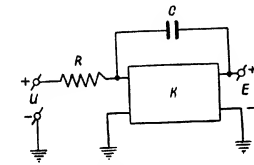
то

$$K(p) = - \frac{R_2}{R_1} \quad (2.4)$$

и звено является усилительным (или, точнее, масштабным). В частном



Фиг. 2.1. Блок-схема операционного усилителя.



Фиг. 2.2. Блок-схема интегрирующего звена.

случае при  $R_1 = R_2$  оно, не изменяя переменную по величине, меняет ее знак на обратный, т. е. служит инверторным звеном.

При

$$Z_1(p) = R \quad \text{и} \quad Z_2(p) = \frac{1}{pC} \quad (2.5)$$

т. е. звено становится интегрирующим (см. фиг. 2.2) с постоянной времени  $T = RC$ .

С помощью схемы включения обратных связей на усилитель посто-

янного тока, приведенной на Фиг. 2.3, осуществляется суммирование нескольких величин.

Эта схема описывается следующими уравнениями:

$$\sum_{j=1}^n i_j = i_0,$$

$$i_j = \frac{e - U_j}{R_j}, \quad (2.6)$$

$$i_0 = \frac{E - e}{R_0},$$

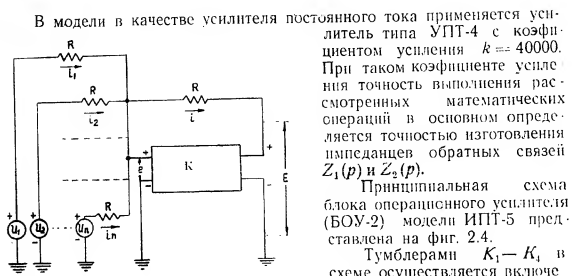
$$E = -ke,$$

откуда.

$$E \left[ 1 + \frac{1}{k} \left( 1 + \sum_{j=1}^n \frac{R_0}{R_j} \right) \right] = -R_0 \sum_{j=1}^n \frac{U_j}{R_j}. \quad (2.7)$$

В пределе при  $k \rightarrow \infty$

$$E = -R_0 \sum_{j=1}^n \frac{U_j}{R_j}. \quad (2.8)$$



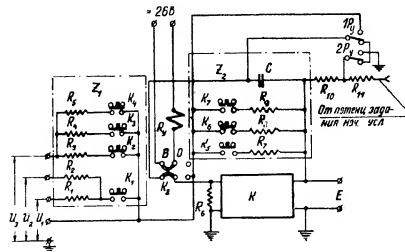
Фиг. 2.3. Блок-схема суммирующего звена.

В модели в качестве усилителя постоянного тока применяется усилитель типа УПТ-4 с коэффициентом усиления  $k = 40000$ . При таком коэффициенте усиления точность выполнения рассмотренных математических операций в основном определяется точностью изготовления импедансов обратных связей  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$ .

Принципиальная схема блока операционного усилителя (БОУ-2) модели ИПТ-5 представлена на Фиг. 2.4.

Тумблерами  $K_1 - K_4$  в схеме осуществляется включение входных сопротивлений обратной связи  $R_1 - R_3$ , а тумблерами  $K_5 - K_8$  — сопротивлений обратной связи  $R_4 - R_8$  и емкости  $C$ , включенных между входом усилителя постоянного тока и его выходом.

Блок операционного усилителя при этом может выполнять функции масштабного, инвертирующего, инерционного и интегрирующего звеньев с различными постоянными времени и различным количеством входов. Для увеличения количества входов операционного усилителя в его схеме



Фиг. 2.4. Принципиальная схема операционного усилителя.

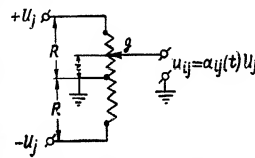
предусмотрена возможность подключения к сетке усилителя постоянного тока дополнительных (внешних) входных сопротивлений обратной связи.

Погрешность выполнения операций схемой блока операционного усилителя не превышает величины  $\pm 0,2\%$ , так как величины сопротивлений обратной связи  $R_1 - R_9$  подгоняются к номиналу с точностью  $\pm 0,1\%$ .

## § 2. ПРИНЦИП ВВОДА КОЭФИЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Блок ввода коэффициентов имеет своей основной функцией воспроизведение во времени графиков коэффициентов  $a_{ij}(t)$ , которые отличались бы от графиков коэффициентов  $a_{ij}(t)$  системы (1.1) только масштабом. Получение переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в модели осуществляется с помощью схемы линейного потенциометра, изображенной на Фиг. 2.5.

Выходное напряжение  $u_{ij}$  между движком потенциометра и землей будет равно  $a_{ij}(t)U_j$  в том случае, если движок потенциометра перемещается таким образом, что отношение сопротивления между движком и началом потенциометра к полному сопротивлению потенциометра в каждый момент времени будет равно

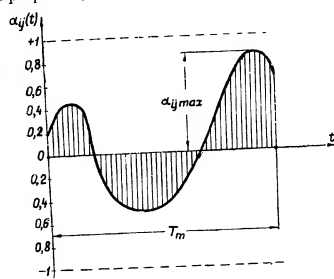


Фиг. 2.5. Принцип действия переменного коэффициента.

значению соответствующей ординаты на графике переменного коэффициента  $\alpha_{ij}(t)$  (см. фиг. 2.6):

$$\alpha_{ij}(t) = \frac{r(t)}{R} \quad (2.9)$$

Роль потенциометра, движок которого перемещается по заданной программе, в модели выполняет устройство, представленное на фиг. 2.7.



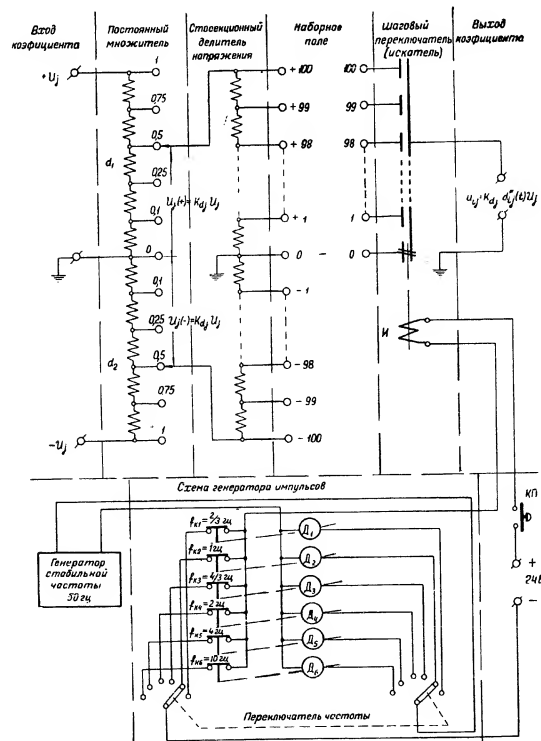
Фиг. 2.6. График  $\alpha_{ij}(t)$ .

С помощью шагового переключателя  $H$  (типа искателя ШИ 50/4), на обмотку которого подаются импульсы с некоторой постоянной частотой  $f$ , осуществляется скачкообразное перемещение движка потенциометра  $g$ , показанного на фиг. 2.5, что эквивалентно разбиению графика воспроизводимого переменного коэффициента на равные интервалы  $T_0$  по оси времени. За один рабочий цикл шаговый переключатель делает сто шагов и возвращается в исходное положение на нулевую ламель. При этом график переменного коэффициента разбивается по оси времени на 100 равных интервалов. Внутри каждого интервала величина коэффициента остается неизменной и может устанавливаться с помощью двух стоксционных делителей напряжения  $D_1$  и  $D_2$  путем соединения ламелей искателя с соответствующими выводами делителей на специальном наборном поле. При этом набор значений  $\alpha_{ij}(t)$  производится по узловым точкам наборной сетки, образуемой в результате разбиения графика коэффициента по оси времени (от 0 до  $T_m$ ) и по оси ординат (от +1 до 0 и от 0 до -1) на 100 равных участков.

Таким образом, при перемещении щеток искателя по ламелям напряжение на выходе такой схемы будет равно  $u_{ij}(t) = \alpha_{ij}(t) U_j$ , где величина  $\alpha_{ij}(t)$  является кривой, ступенчато аппроксимирующей график воспроизводимого коэффициента.

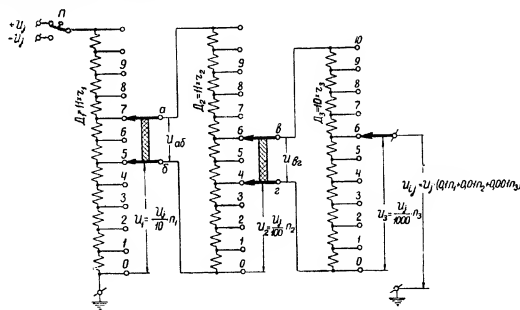
Для более точной аппроксимации графиков переменных коэффициентов, т. е. для аппроксимации возможно большим числом ступеней, независимо от их величины и времени развертки, предусмотрены постоянный масштабный множитель  $K_{aj}$  и возможность изменения величины  $T_0$  с помощью изменения частоты импульсов, подаваемых на обмотку электромагнита искателя. Масштабный коэффициент  $K_{aj}$  имеет значения: 1, 0,75, 0,5, 0,25, 0,1, а величина  $T_0$ , равная  $T_m/100$ — значения 1,5, 1,0, 0,75, 0,5, 0,25 и 0,1 сек. Соответственно длительность одного рабочего цикла схемы модели  $T_m$  равна 150, 100, 75, 50, 25 и 10 сек.

Для стабилизации частоты  $f$  переключений щеток искателя с тем, чтобы длительность интервала  $T_0 = 1/f$  точно соответствовала заданным на модели величинам, в модели применяется кварцевый генератор (см. фиг. 2.7).



Фиг. 2.7. Принципиальная схема блока переменного коэффициента.

Ввод постоянных коэффициентов осуществляется аналогично переменным коэффициентам с помощью декадного делителя напряжения, представленного на фиг. 2.8.



Фиг. 2.8. Принципиальная схема блока постоянного коэффициента.

Делители напряжения  $D_1$  и  $D_2$  имеют по одиннадцати секций равных сопротивлений, а делитель  $D_3$  — 10 секций. При принятых в схеме величинах для  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  имеют место соотношения

$$\begin{aligned} r_3 &= 0,2r_2, \\ r_2 &= 0,2r_1. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Сопротивления между движками (а, б) и (а, в), таким образом, будут равны:

$$\begin{aligned} r_{a,b} &= \frac{2r_1 10 + 0,2r_1}{2r_1 + 10 + 0,2r_1} = r_1, \\ r_{a,v} &= \frac{2r_2 10 + 0,2r_2}{2r_2 + 10 + 0,2r_2} = r_2. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Поэтому независимо от положения движков а, б, в, г на делитель  $D_2$  будет всегда подаваться напряжение  $U_{a,b} = U_y/10$ , а на делитель  $D_3$  — напряжение  $U_{a,v} = U_y/100$ .

Таким образом, напряжение на выходе схемы (2.8) будет равно:

$$u_{ij} = U_{ij} \cdot 0,1(n_1 + 0,1n_2 + 0,01n_3), \quad (2.12)$$

где  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  — номера выводов секций делителей ( $n_1$  и  $n_2$  меняются от 0 до 9, а  $n_3$  — от 0 до 10). С помощью  $n_1$  набирается первая, с помощью  $n_2$  — вторая и с помощью  $n_3$  — третья значащие цифры постоянного коэффициента при переменной  $U_j$ . Знак коэффициента изменяется с помощью переключателя П.

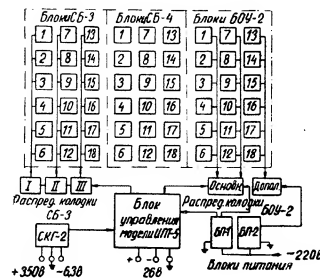
### Глава 3

#### БЛОК-СХЕМА МОДЕЛИ И ЕЕ ОБЩЕЕ КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Блок-схема модели ИПТ-5 приведена на фиг. 3.1.

В нее входят следующие основные узлы и блоки:

- 1) блоки операционных усилителей типа БОУ-2 — 18 шт.,
- 2) блоки переменных коэффициентов типа СБ-3 — 18 »,
- 3) блоки постоянных коэффициентов типа СБ-4 — 18 »,
- 4) пульт управления моделью,
- 5) распределительные колодки питания БОУ-2 (одна основная на 12 БОУ-2 и одна дополнительная на 6 БОУ-2),



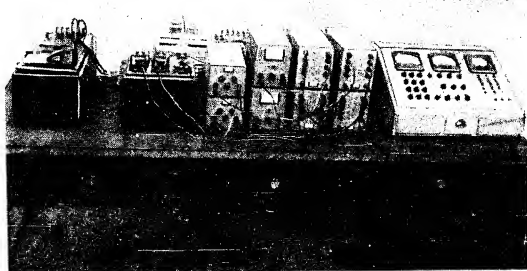
Фиг. 3.1. Блок-схема модели ИПТ-5.

- 6) распределительные колодки блоков СБ-3 (3 колодки на 6 СБ-3 каждая),
- 7) блок питания типа ЭСВ-1,
- 8) кварцевый генератор типа СКГ-2.

При составлении частной схемы блоки модели ИПТ-5 соединяются между собой с помощью коммутационных шнуров и планов в соответ-

ствии с решаемой системой, причем располагаются они в наиболее удобном порядке с точки зрения минимальной длины соединительных шнуров.

Общий вид модели ИПТ-5 со стороны лицевых панелей ее блоков для частного случая системы 2-го порядка представлен на фиг. 3.2. В центре модели в два этажа расположены блоки операционных усили-



Фиг. 3.2. Общий вид модели ИПТ-5 для частного случая системы 2-го порядка.

телей, переменных коэффициентов и постоянных коэффициентов. За ними находятся распределительные колодки для БОУ-2 и СБ-3, а справа от них — блок управления. Блоки питания модели ИПТ-5 устанавливаются на полу рядом со столом, на котором расположены блоки модели.

Слева от модели находится шлейфовый осциллограф, применяемый для записи решения на осциллограмме.

Описание основных блоков модели ИПТ-5, их схем и конструкций дано в главе 4.

#### Глава 4

##### БЛОКИ МОДЕЛИ

##### § 1. ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БОУ-2 И УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА УПТ-4

Как указывалось в гл. 2, блок операционного усилителя БОУ-2 служит в модели ИПТ-5 для выполнения операций суммирования, усиления, интегрирования и инвертирования. По своему устройству схема представляет собой сочетание типового усилителя постоянного тока типа УПТ-4 с набором сопротивлений обратных связей: входных сопротивлений ( $Z_1$ ) и сопротивлений ( $Z_2$ ), включенных между входом и выходом УПТ. Принципиальная скелетная схема БОУ-2 соответствует схеме, приведенной на фиг. 2.1. Полная принципиальная электрическая схема БОУ-2 представлена на фиг. 4.1.

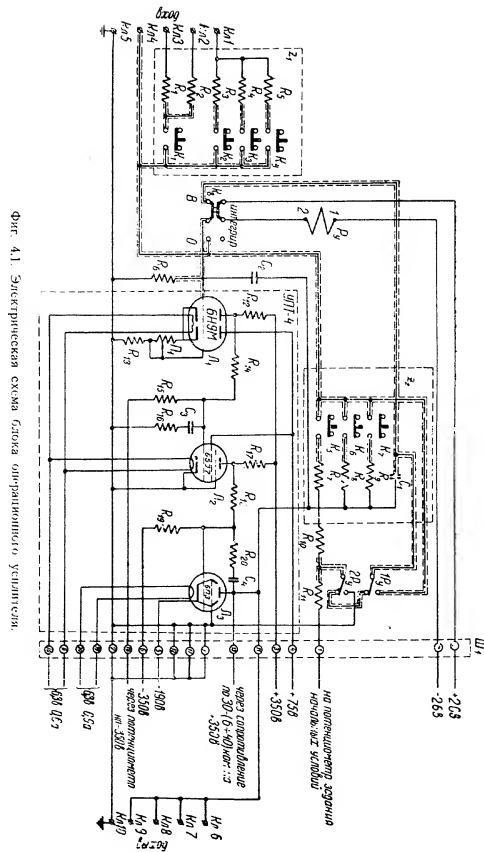
С помощью сопротивлений схемы  $R_1 \div R_5$  и  $R_7 \div R_8$ , подогнанных к номиналу с точностью  $\pm 0,1\%$ , можно производить интегрирование с основными постоянными времени 1, 0,1 и 0,02 сек., умножение на масштабный коэффициент  $K_M = 0,01, 0,1, 0,5, 1, 5, 10, 50$ , инвертирование и суммирование трех величин. Кроме этого, БОУ-2 может работать в режиме инерционного звена с постоянной времени, равной: 1, 0,1, 0,01 сек.

Задание значений  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$  производится тумблерами  $K-K_2$ . Для увеличения числа входов при работе БОУ-2 в режиме суммирующего звена на его лицевой панели имеется клемма, на которую прямо выведена сетка входной лампы усилителя постоянного тока для подключения дополнительных внешних входных сопротивлений обратной связи.

При работе блока операционного усилителя в качестве интегрирующего или инерционного звена выходной величине БОУ задаются начальные условия в диапазоне от 0 до  $\pm 100$  в. Схема задания начальных условий состоит из сопротивлений  $R_{10}$  и  $R_{11}$ , контактов управляющего реле  $P_y$  и потенциометра начальных условий, находящегося в блоке управления. Реле  $P_y$  производит переключение схемы БОУ из режима задания начальных условий в режим работы.

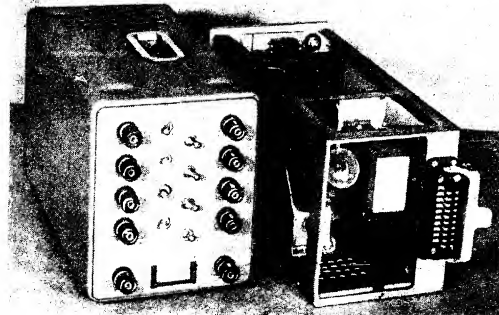
Конструктивно БОУ-2 выполнен в виде отдельного блока. Его внешний вид показан на фиг. 4.2. В стальном каркасе блока смонтированы основные элементы его схемы: стирофлексный конденсатор на 1 мкф в защитном экране, реле типа РМУ1717132, плата с сопротивлениями обратных связей и усилитель постоянного тока УПТ-4. Сопротивление анодной нагрузки выходного каскада УПТ-4 вынесено в распределительную колодку БОУ-2 с целью уменьшения нагрева блока.





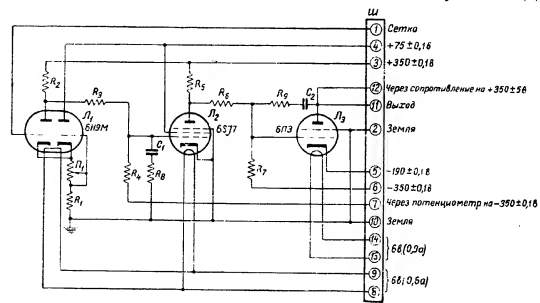
Фиг. 4.1. Электрическая схема блока операционного усилителя.

Усилитель постоянного тока УПТ-4 является наиболее ответственным элементом схемы. Выполнен он в виде отдельного легкоустанавливаемого блока и соединяется с остальной схемой БОУ-2 с помощью штеккерного соединения.



Фиг. 4.2. Общий вид блока операционного усилителя.

Принципиальная схема усилителя постоянного тока УПТ-4 приведена на Фиг. 4.3. Этот усилитель состоит из трех каскадов усиления. Для



Фиг. 4.3. Принципиальная схема усилителя УПТ-4.

сопряжения между собой отдельных каскадов усилителя применяется дополнительный источник питания — 350 в.

Первый каскад усилителя собран на двойном триоде 6Н9М с большим коэффициентом усиления. Ввиду того, что дрейф усилителя постоянного тока весьма существенно зависит от изменений анодного тока входной лампы, вызываемых изменениями эмиссии катода (главным образом, из-за изменения напряжения накала), первый каскад выполнен по балансной схеме. Применение балансной схемы компенсирует изменения анодного тока при отклонениях напряжения накала. При этом усиление первого каскада будет иметь наибольшую стабильность, когда сопротивление  $R_1$  в цепи катода лампы 6Н9М равно  $1/S$ , где  $S$  — крутизна лампы 6Н9М. С его помощью изменяется смещение на сетке правого триода входной лампы. Регулировка потенциометром  $P_1$  производится при настройке схемы или же при смене входной лампы 6Н9М. Лампы типа 6Н9М перед установкой в усилитель должны пройти предварительное старение в течение 100 час. и подвергнуться отбраковке.

Второй каскад усилителя собран на пентоде 6СJ7 с большим коэффициентом усиления. Регулировкой сеточного смещения в этом каскаде обеспечивают установку выходного напряжения усилителя на ноль. Эта регулировка осуществляется двумя соседними потенциометрами, вынесенными из усилителя. Один потенциометр служит для грубой установки нуля, другой — для точной установки.

Третий каскад усилителя собран на мощном лучевом тетроде 6ПЗ. Катод лампы 6ПЗ имеет потенциал — 190 в, что необходимо для обеспечения нулевого потенциала на аноде этой лампы при отсутствии напряжения на входе усилителя. Сопротивление анодной нагрузки выходной лампы усилителя вынесено из него.

Вследствие значительного дрейфа напряжения на выходе, усилитель без обратных связей использоваться быть не может. Для подавления генерации, которая возникает в усилителе при включении обратных связей, в нем установлены RC-фильтры:  $C_1$ ,  $R_5$  и  $C_2$ ,  $R_6$ , данные которых приведены в спецификации к схеме.

Усилитель типа УПТ-4 в режиме активных обратных связей позволяет с большой точностью устанавливать коэффициент усиления в диапазоне от 0,01 до 50 (коэффициент усиления усилителя без обратных связей достигает порядка 40000).

Дрейф выходного напряжения усилителя, приведенный к его входу, зависит, в частности, от качества входной лампы и равен 1—2 мВ за 10 мин. при питании усилителя от высокостабилизированных источников питания типа ЭСВ-1. Дрейф напряжения на выходе усилителя определяется формулой

$$E_{др} = e_{др} (1 - k),$$

где:

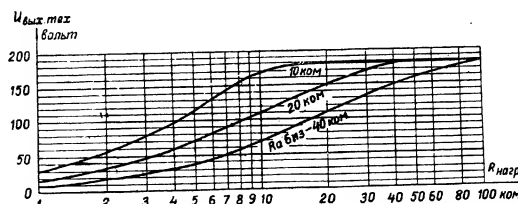
$E_{др}$  — дрейф напряжения на выходе усилителя.

$e_{др}$  — дрейф напряжения, приведенный ко входу усилителя.

$k$  — коэффициент усиления усилителя, работающего в режиме обратных связей.

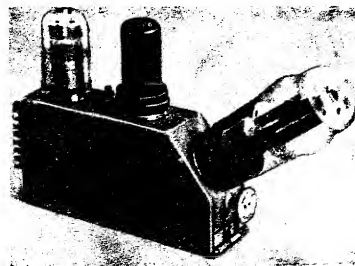
Практически дрейф напряжения на выходе усилителя при  $K = 50$  за 10 мин. не превышает  $\pm 75$  мВ и при  $RC = 1$  сек. за 100 сек. не превышает  $\pm 100$  мВ.

При выбранных данных фильтра в схеме усилителя он имеет горизонтальный участок частотной характеристики с отклонением не более 1% в диапазоне от 0 до 100 гц.



Фиг. 4.4. Характеристики усилителя УПТ-4  $U_{\text{вых макс.}} = f(R_n, R_0)$ .

Сдвиг фазы напряжения на выходе усилителя относительно напряжения на его входе не превышает  $1^\circ$  при частоте 37 гц и практически не зависит от коэффициента усиления.



Фиг. 4.5. Внешний вид усилителя УПТ-4

Допускаемая линейная раскачка выходного напряжения (при клир-факторе менее 0,1%) для заданной нагрузки зависит от анодного сопротивления выходной лампы усилителя. Характер данной зависимости приведен на фиг. 4.4. Например, при внешней нагрузке 12 кОм и анодной нагрузке выходной лампы 20 кОм усилитель обеспечивает линейность выходной характеристики в диапазоне около  $\pm 130$  в.

Конструктивное оформление усилителя УПТ-4 показано на фиг. 4.5. Вид на усилитель со снятым кожухом показан на фиг. 4.6. Как видно из приведенных фотоснимков, все сопротивления и конденсаторы схемы

установлены внутри стального шасси. Монтаж и элементы схемы (сопротивления, конденсаторы) закрываются снаружи стальным кожухом, который крепится к шасси двумя винтами.

Для соединения с внешней схемой и источником питания в передней части шасси усилителя расположена 14-контактная штеккерная вилка.



Фиг. 4.6. Вид УПТ-4 со снятым кожухом.

В целях лучшего охлаждения и получения минимальных габаритов выходная лампа усилителя (6П3) расположена в задней части шасси. Габариты усилителя:  $230 \times 40 \times 130,5$  мм.

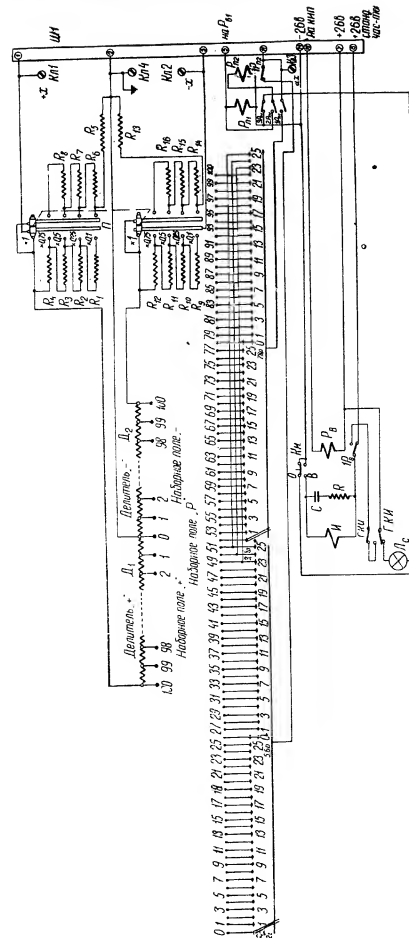
## § 2. СМЕННЫЙ БЛОК ПЕРЕМЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА СБ-3

Сменные блоки типа СБ-3 служат в модели ИПТ-5 для воспроизведения графиков переменных во времени коэффициентов  $\alpha_{ij}(t)$  и умножения их на искомые величины  $U_i(t)$ .

Принципиальная схема такого блока приведена на фиг. 4.7. В основу работы блока СБ-3 положена ступенчатая аппроксимация графика переменного коэффициента. Основными элементами блока, осуществляющими воспроизведение набираемого графика переменного коэффициента во времени, являются шаговый переключатель типа искателя ШИ 50/1 с головной контактной группой и два стосекционных делителя напряжения  $D_1$  и  $D_2$ . Искатель производит шаговую развертку во времени — разбиение графика коэффициента по времени на 100 частей. Зависимые переменные  $U_i(t)$  поступают через выводы 1, 2 и 3 штеккера на стосекционные делители  $D_1$  и  $D_2$ . С помощью этих делителей производится набор величины коэффициента через  $\pm 0,01$  в диапазоне от 0 до  $\pm 1$ . Этот набор осуществляется путем соединения ламелей шагового переключателя с выводами делителей  $D_1$  и  $D_2$ . Для удобства обслуживания и набора коэффициента все выводы делителя  $D_1$  выведены на наборное поле «+», делителя  $D_2$  — на наборное поле «-» и ламели искателя — на поле «Р» (развертка).

В сменном блоке переменного коэффициента предусмотрена возможность изменения масштаба набранной кривой переменного коэффициента при помощи переключателя, обозначенного на схеме буквой П.

В сменном блоке СБ-3 масштабный коэффициент  $K_{\alpha j}$  может быть равен: 1, 0,75, 0,5, 0,25 и 0,1, причем посредством включения сопротивле-



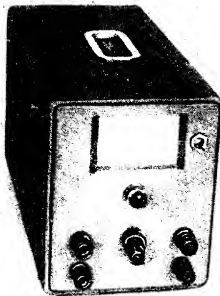
Фиг. 4.7. Электрическая схема блока переменного коэффициента СБ-3.

ний  $R_1 - R_{10}$  выдерживается условие постоянства входного сопротивления блока при любом из указанных значений этого коэффициента.

Как уже было отмечено, развертка коэффициента  $\alpha_1(t)$  во времени осуществляется искателем блока СБ-3, импульсы на электромагнит которого поступают от генератора импульсов модели ИПТ-5 с частотой 10, 4, 2,  $\frac{1}{2}$ , 1,  $\frac{1}{4}$  гц. Начало и окончание

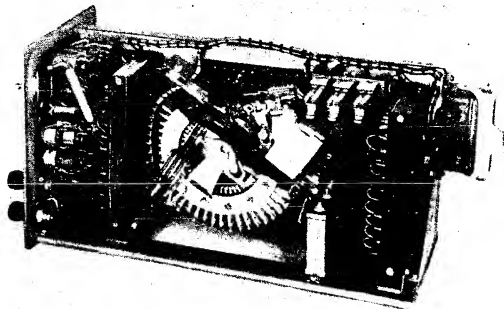
посылки импульсов регулируются схемой блока управления модели. В целях увеличения числа интервалов  $T_0$  развертки коэффициента до 100 в блоке СБ-3 установлены реле  $P_{n1}$  и  $P_{n2}$ , осуществляющие переключение выходной цепи блока с одного поля ламелей искателя (50-ламельное) на другое. Управляющий импульс на реле  $P_{n1}$  поступает из блока управления модели ИПТ-4 на 49-м шаге в момент времени, когда щетки искателя сменного блока переменного коэффициента находятся на ламелях № 23 пятого и шестого рядов (см. схему на фиг. 4.7).

Перед началом работы искатель блока СБ-3 находится в исходном положении (щетки искателя находятся на нулевых ламелях). Об установке искателя в этом положении сигнализирует лампочка  $L_c$ , цепь которой при этом замыкается нормально-замкнутым контактом головной контактной группы искателя (ГКГИ).



Фиг. 4.8. Общий вид блока СБ-3.

Фиг. 4.9. Вид на монтаж блока СБ-3.

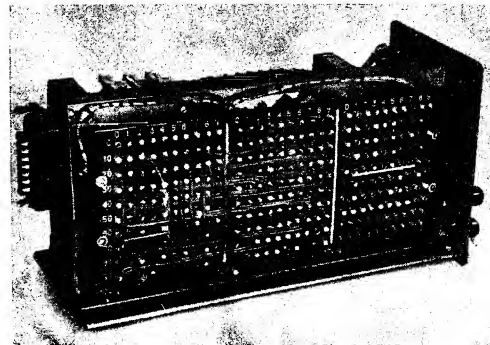


Фиг. 4.9. Вид на монтаж блока СБ-3.

Для быстрого возвращения схемы блока в исходное положение в ней предусмотрена возможность вывода искателя на нулевую ламель через самоходный контакт.

Включение искателя на самоход осуществляется от реле  $P_n$  (установленного в блоке СБ-3), управление которым производится с помощью кнопки «исх. пол.» на блоке управления. В схеме блока предусмотрен тумблер  $K_n$ , с помощью которого можно остановить искатель блока на любой ламели, т. е. превратить при этом переменный коэффициент в постоянный.

Конструктивно СБ-3 оформлен в виде отдельного блока. Внешний вид его показан на фиг. 4.8. Вид на блок со снятым кожухом дан на



Фиг. 4.10. Вид на блок СБ-3 со стороны наборного поля.

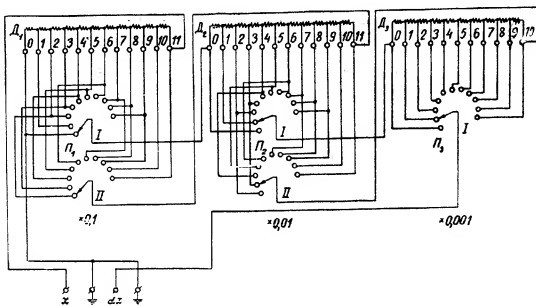
фиг. 4.9 и 4.10. Все элементы блока смонтированы на стальном шасси. На лицевой панели шасси установлено: 4 клеммы ( $+x_1$ ,  $-x_1$ ,  $\alpha x_1$  и «земля»), переключатель масштаба коэффициента  $K_{a1}$ , лампочка сигнализации и тумблер остановки блока. Для обозначения графика переменного коэффициента на сменном блоке предусмотрен особый кармашек, который также расположен на лицевой панели блока.

Монтаж и все элементы схемы закрыты кожухом, который крепится к шасси одним невыпадающим винтом, расположенным на задней стенке кожуха блока. Для удобства эксплуатации при наборе графика переменного коэффициента (при подготовке к решению какой-либо задачи на модели ИПТ-5) крышка, прикрывающая наборное поле (фиг. 4.10), выполнена легкссъемной. Эта крышка крепится к кожуху посредством пружинных замков.

Для соединения сменного блока со схемой модели в задней верхней части его шасси расположена 14-контактная штеккерная вилка.

### § 3. СМЕННЫЙ БЛОК ПОСТОЯННОГО КОЭФФИЦИЕНТА СБ-4

Сменный блок СБ-4 в модели ИПТ-5 применяется для умножения зависимых переменных  $U_i(t)$  на постоянный коэффициент, величина которого набирается с точностью до 0,1% максимального значения, равного  $\pm 1$ . Принципиальная схема этого блока приведена на фиг. 4.11.



Фиг. 4.11. Электрическая схема блока постоянного коэффициента СБ-4.

Блок постоянного коэффициента типа СБ-4 представляет собой магазин сопротивлений, составленный из делителей  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$ . Делитель  $D_1$  имеет 11 секций, делитель  $D_2$ —11 секций, делитель  $D_3$ —10 секций.

Схема блока составлена таким образом, что каждый последующий делитель шунтирует две секции предыдущего делителя, причем сопротивление каждого последующего делителя равно сопротивлению двух секций предыдущего делителя. При таком соединении делителей выдерживается условие постоянства входного сопротивления блока СБ-4 при любом положении ручек всех его переключателей.

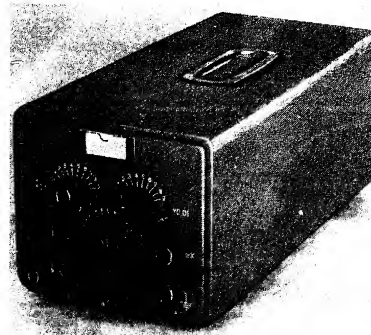
В блок постоянного коэффициента величины  $U_i(t)$  поступают на делитель  $D_1$ .

Блок постоянного коэффициента позволяет устанавливать коэффициент в диапазоне от  $\pm 1$  до 0 через 0,001 с точностью до 0,1% устанавливаемого значения.

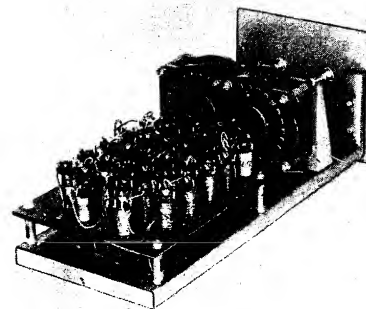
Внешний вид сменного блока постоянного коэффициента типа СБ-4 представлен на фиг. 4.12. Вид на прибор со снятым кожухом дан на фиг. 4.13.

Все элементы блока смонтированы на стальном шасси. На лицевой панели шасси установлены три переключателя установки значения коэффициента и клеммы (х, ах и две земляных). Для облегчения маркировки

сменных блоков СБ-4 в его конструкции предусмотрен особый кармашек, который также расположен на лицевой панели.



Фиг. 4.12. Общий вид блока СБ-4.



Фиг. 4.13. Вид на монтаж блока СБ-4.

Все детали схемы и монтаж закрыты кожухом, который крепится к шасси одним невыпадающим винтом, расположенным в задней части блока.

#### § 4. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ

Блок управления служит для настройки, контроля и управления работой блоков операционных усилителей и блоков переменных коэффициентов модели ИПТ-5.

На фиг. 4.14 приведена полная принципиальная электрическая схема блока управления. Схема блока состоит из следующих основных узлов:

1. Схемы регулировки и контроля нулей усилителей постоянного тока.
2. Схемы задания начальных условий и постоянных возмущений.
3. Схемы защиты и сигнализации.
4. Схемы управления работой модели.

##### 1. Схема регулировки и контроля нулей усилителей постоянного тока типа УПТ-4

В блоке управления производится установка нулей 12 усилителей постоянного тока блоков операционных усилителей модели. Регулировка нулей производится с помощью двохосных соосных потенциометров, обозначенных на схеме  $R_{\text{ну1}} - R_{\text{ну12}}$ . Напряжение — 350 в на соосные потенциометры подается от того же блока питания, от которого производится питание усилителей. Для контроля установки нуля усилителей служит прибор  $V_{\text{ну}}$  класса 1 с добавочными сопротивлениями (на три предела измерения), смонтированными в корпусе прибора.

Для переключения прибора на различные пределы измерения служит тумблер  $P_3$ .

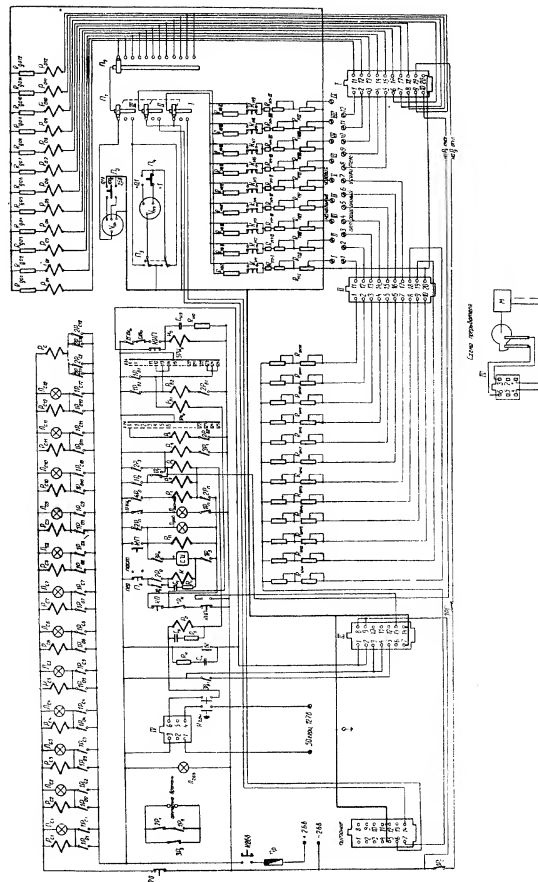
Контроль нулей усилителей производится при положении переключателя  $P_1$  в позиции «пр. нуля» (данное положение изображено на схеме). При этом выходы всех усилителей переключателем  $P_2$  последовательно подключаются к прибору  $V_{\text{ну}}$  и с помощью ручек соосных потенциометров грубой и точной регулировки производится установка нулей усилителей сначала по шкале 100 в, затем по шкале 2,5 в и, наконец, по шкале 100 мв.

##### 2. Схема задания начальных условий и постоянных возмущений

Схема задания начальных условий и постоянных возмущений имеет девять соосных потенциометров ( $R_{\text{н1}} - R_{\text{н9}}$ ). Питание на соосные потенциометры подается через переключатель  $P_1$  (позиция «нач. условия») и добавочные сопротивления  $R_{\text{н1-1}} - R_{\text{н1-9}}$  или  $R_{\text{н2-1}} - R_{\text{н2-9}}$  или  $R_{\text{н3-1}} - R_{\text{н3-9}}$ .

С помощью тумблеров  $K_{\text{н1}} - K_{\text{н9}}$  производится переключение питания с +350 в на —190 в или наоборот. Величины добавочных сопротивлений  $R_{\text{н1-1}} - R_{\text{н1-9}}$  и  $R_{\text{н2-1}} - R_{\text{н2-9}}$  выбраны таким образом, чтобы соосными потенциометрами можно было задать начальные условия или постоянные возмущения в пределах  $\pm 100$  в. Движки соосных потенциометров  $R_{\text{н1}} - R_{\text{н9}}$  соединены с девятью клеммами (1—IX), расположенными рядом с двенадцатью клеммами (1—12), соединенными

28



Фиг. 4.14. Принципиальная схема блока управления.

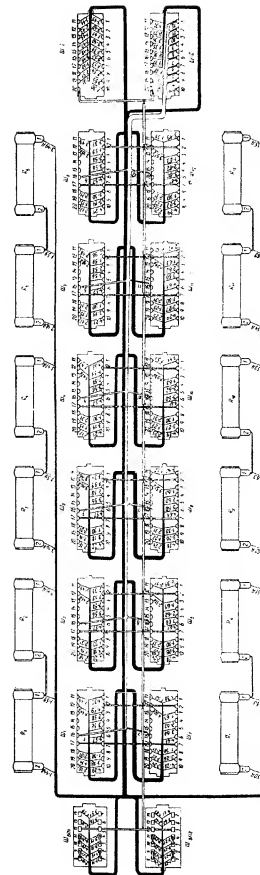


Fig. 1.12. Schematic diagram of the cipher machine.

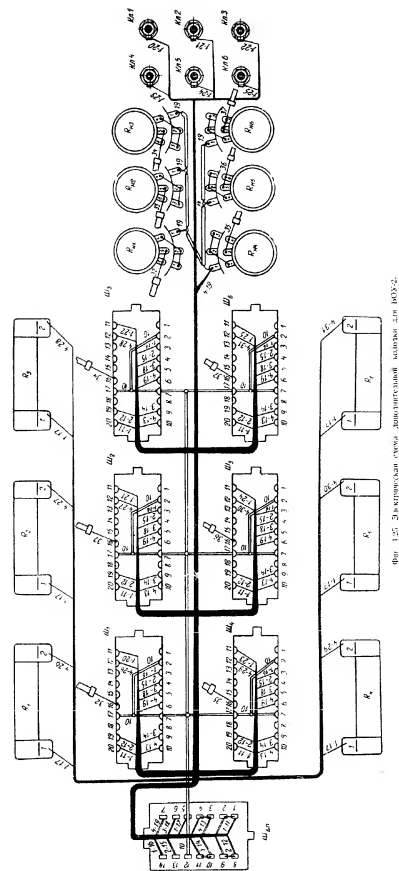


Рис. 125. Принципиальная схема машины «Энигма».



со входными цепями задания начальных условий блоков операционных усилителей. Задание начальных условий производится шнуровой коммутацией между клеммами I—IV (начальные условия) и клеммами 1—12 (блок операционного усилителя). Постоянные возмущения могут задаваться с помощью шнуровой коммутации клемм (1—IX) со входами блоков операционных усилителей.

Контроль задания начальных условий и постоянных возмущений производится прибором  $V_{нв}$  класса I с добавочными сопротивлениями. Прибор рассчитан на два предела измерения (10 в и 100 в), которые устанавливаются с помощью тумблера  $П_4$ . Тумблер  $П_5$  дает возможность измерять прибором  $V_{нв}$  напряжения разных знаков. Подключение к прибору  $V_{нв}$  выходов интегрирующих блоков (при задании начальных условий) и выходов суммирующих блоков (при задании постоянных возмущений) производится тем же переключателем  $П_2$ , что и при установке нулей усилителей.

### 3. Схема защиты и сигнализации

Схема защиты включает в себя реле-ограничители  $R_{11} + R_{12}$  типа РМ с добавочными сопротивлениями и нагрузочными пружинками. Эти реле включены на выходах усилителей постоянного тока блоков операционных усилителей.

Реле-ограничитель срабатывает в том случае, если выходное напряжение усилителя переходит за допустимые пределы  $\pm 105 \pm 5$  в и при этом включается цепь сигнального реле  $R_{11} - R_{12}$ . Сигнальное реле, в свою очередь, самоблокируясь своим контактом, включает красную сигнальную лампочку ( $L_{11} - L_{12}$ ) и общее сигнальное реле  $P_c$ , контакт которого размыкает цепь управляющих реле в блоках операционных усилителей. Работа схемы модели при этом автоматически прекращается.

### 4. Схема управления работой модели

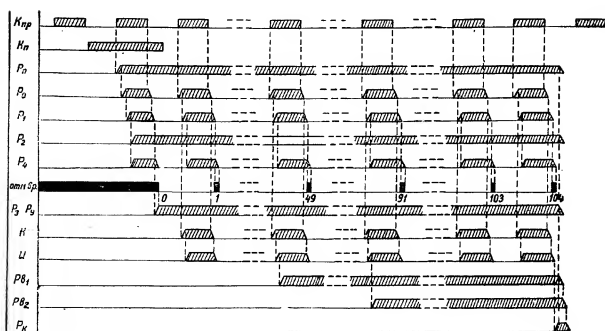
Схема управления работой модели ИПТ-5 (см. фиг. 4.14) выполняет следующие функции: пуск модели, управление работой сменных блоков переменных коэффициентов, остановка схемы, получение отметки времени, счет импульсов, возврат схемы в исходное положение. Последовательность работы элементов схемы наглядно показывает временной график ее работы (см. фиг. 4.15).

Схема пуска построена таким образом, чтобы точно синхронизировать начало работы модели и маркировку времени с импульсами, вырабатываемыми генератором импульсов, состоящим из блока прерывателя и контактора (повторителя)  $K$ .

Сменные блоки прерывателя включают в себя электродвигатель типа СД-60 со звездочкой и контактной группой и выполняются на частоты  $2/3$ , 1,  $1/3$ , 2, 4 и 10 гц в виде отдельных сменных узлов, имеющих

соответствующую маркировку величины шага развертки графика коэффициента во времени: 1,5, 1, 0,75, 0,5, 0,25 и 0,1 сек.

Начало процесса интегрирования в схеме модели должно точно соответствовать началу паузы между импульсами генератора, что соответствует началу интервала  $T_0$  (см. фиг. 4.15).



Фиг. 4.15. Временной график работы схемы управления.

Пуск схемы производится в следующей последовательности: тумблером  $K_{пр}$  включается в работу электродвигатель прерывателя, тумблером  $K_{2пр}$  в схему блока управления подается напряжение постоянного тока 26 в и на реле  $P_0$  поступают импульсы необходимой частоты, распределяемой установленным в схеме блоком прерывателя. Затем нажимается кнопка пуска  $KП$ . При этом срабатывает и блокируется через собственный контакт ( $4P_0$ ) пусковое реле  $P_н$  и загорается сигнальная лампочка  $L_{рлк}$ . Другой контакт ( $2P_н$ ) включает в работу реле  $P_0$  и подготавливает цепь для срабатывания реле  $P_1$ . Реле  $P_0$  повторяет импульсы прерывателя. Через его контакт  $4P_0$  питается реле  $P_1$ , которое повторяет работу реле  $P_0$ . Через контакты  $1P_0$  и  $2P_0$  включенные в параллель, +26 в подается на контактор ( $K$ ).

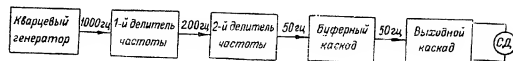
Во время импульса срабатывает реле  $P_1$  и контактом  $1P_1$  включает в работу реле  $P_2$ , которое своим контактом  $1P_2$  блокируется на весь период работы схемы. Через контакт  $3P_1$  возбуждается реле  $P_4$ , которое в дальнейшем повторяет работу реле  $P_1$ . В начале следующей паузы, когда реле  $P_1$  отпустит свой якорь, срабатывает реле  $P_3$  и блокируется через свой контакт реле  $2P_3$ . Одновременно в начале паузы срабатывают все управляющие реле  $P_у$  в блоках операционных усилителей. При

интегрировании систем линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами тумблер  $П_0$  ставится в положение «пер.» и —26 в через контакт  $1P_2$  подается на контактор, который с появлением следующего импульса вступает в работу и через свой контакт ( $1K$ ) подает импульсы на все искатели блоков переменных коэффициентов модели (этим, в частности, обеспечивается синхронность их работы). В случае решения задач с постоянными коэффициентами тумблер  $П_0$  ставится в положение «пост.» и тем самым отключает питание от контактора. Для переключения выходной цепи с одного поля ламелей искателя на другое в сменных блоках переменного коэффициента СБ-3 установлены переключающие реле  $P_{н1}$  и  $P_{н2}$ . Управление работой этих переключающих реле производится с помощью искателя  $И_0$ , установленного в блоке управления. На 49-м шаге искателя срабатывает реле  $P_{н1}$ , которое контактом  $1P_{н1}$  самоблокируется, а контактом  $2P_{н1}$  подготавливает к работе реле  $P_{н2}$ . Одновременно через контакт  $3P_{н1}$  подается импульс на переключающие реле  $P_{н1}$  и  $P_{н2}$  в сменных блоках, которые, таким образом, на 49-м шаге искателя переключают выходные цепи этих блоков с одного поля ламелей искателя на другое. На 90-м шаге искателя  $И_0$  в блоке управления срабатывает реле  $P_{н2}$ , блокируется контактом  $1P_{н2}$  и подготавливает к работе цепь окончательного реле  $P_к$ . В положении щетки искателя на нулевой ламели срабатывает реле  $P_к$  и размыкает цепь —26 в, после чего одновременно отпускают якоря реле  $P_{н1}$ ,  $P_{н2}$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_5$ ,  $P_6$ ,  $P_7$ ,  $P_8$ ,  $P_9$ ,  $P_{н1}$ , прекращают работу контактор и искатели, а затем отпускает якорь реле  $P_{н2}$  и, наконец, реле  $P_к$ . При этом схема возвращается в исходное положение, о чем сигнализирует зеленая лампочка  $L_{сх. пол.}$ , включенная через контакт головной контактной группы искателя ( $2ГКГИ_0$ ) и нормально замкнутый контакт пускового реле  $1P_н$ . Такое включение лампочки  $L_{сх. пол.}$  исключает подсвечивание ее в моменты нахождения движков искателя на нулевой ламели во время рабочего цикла схемы. Для возврата сменных блоков СБ-3 в исходное положение в любой момент времени нажимается кнопка исходного положения КИП. При этом напряжение +26 в подается на искатель  $И_0$  через самоходный контакт СКИ\_0 и на вспомогательные реле  $P_у$  в сменных блоках СБ-3. На нулевой ламели напряжение +26 в отключается головной контактной группой ( $1ГКИ_0$ ). Искатель останавливается в исходном положении и загорается зеленая лампочка  $L_{сх. пол.}$ . Для получения отметки времени в блоке предусмотрена цепь, состоящая из последовательно включенных нормально замкнутого контакта  $2P_1$ , реле  $P_1$  и нормально разомкнутого контакта  $1P_4$  реле  $P_4$ . В начале паузы, в момент, когда реле  $P_1$  уже отпустило якорь, а реле  $P_4$  еще удерживает свой якорь, эта цепь на короткое время замыкается и импульс тока поступает на шлейф осциллографа, служащий для отметки времени.

Первая (нулевая) отметка времени, появляющаяся в момент размыкания нормально замкнутого контакта реле  $P_4$ , точно соответствует началу процесса интегрирования. Затем отметки времени повторяются с заданной частотой импульсов прерывателя. Схема позволяет вести счет этим импульсам с помощью типового счетчика импульсов СИ. Поддача импульсов на счетчик осуществляется при каждом срабатывании реле  $P_0$ . Перед пуском шкала счетчика импульсов должна быть установлена



вая стабилизация частоты и мощный трансформаторный выход. Блок-схема генератора показана на фиг. 4.18.



Фиг. 4.18. Блок-схема СКГ-2.

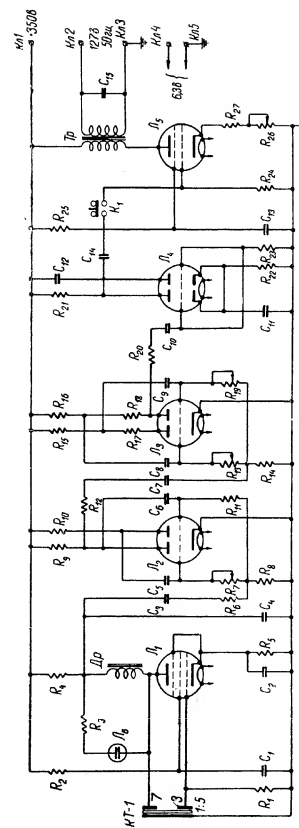
Схема генератора работает следующим образом. Переменное напряжение с выхода кварцевого генератора стабилизированной частоты 1000 гц подается на вход первого делителя частоты, который производит пятикратное деление частоты. Благодаря этому, с выхода 1-го делителя частоты на вход 2-го делителя частоты подается напряжение частотой 200 гц. Второй делитель уменьшает частоту еще в 4 раза, вследствие чего на его выходе получается напряжение с частотой 50 гц. В качестве 1-го и 2-го делителей частоты используются симметричные мультивибраторы, синхронизируемые внешним периодическим напряжением. Буферный каскад служит для разделения второго делителя частоты и мощного выходного каскада. К выходу последнего каскада усиления по мощности напряжения частоты 50 гц подключается синхронный моторчик специального генератора импульсов модели.

Электрическая схема генератора приведена на фиг. 4.19. Первый ее каскад на лампе  $L_1$  (6АС7) вместе с кварцем (типа КТ-1), включенным между управляющей сеткой и анодом, представляет собой генератор стабилизированной частоты 1000 гц. Стабилизация частоты при помощи кварца общеизвестна. Стабильность частоты такого кварцевого генератора очень велика (порядка  $10^{-4} + 10^{-5}$  гц), чем обеспечивается очень точная развертка переменных коэффициентов во времени.

В случае, если для развертки переменных коэффициентов достаточно точность во времени порядка 2%, то генератор импульсов модели можно питать прямо от сети переменного тока частотой 50 гц, причем в этом случае необходимость в кварцевом генераторе отпадает.

Переменная слагающая анодного тока лампы  $L_1$  создает падение напряжения на анодном дросселе этой лампы.

Зажигание неоновой лампочки, присоединенной через ограничительное сопротивление  $R_1$  к дросселю, указывает на возникновение генерации. Сопротивление  $R_2$  и емкость  $C_2$  служат для автоматического смещения рабочей точки каскада. Часть выходного напряжения генератора, снимаемая с анодного сопротивления  $R_4$ , через переходную емкость  $C_3$  подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$ . С сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$  напряжение сигнала подается одновременно на сетки обеих половин лампы  $L_2$  (6Н7С), являющейся первым делителем частоты. Подборкой сопротивлений  $R_7$  осуществляется изменение собственной частоты мультивибратора. Как уже указывалось выше, 1-й делитель настраивается на частоту 200 гц. Напряжение с выхода 1-го мультивибратора подается через сопротивление  $R_{12}$  и емкость  $C_6$  на 2-й мультивибратор, собранный на лампе  $L_3$  (6Н7С), схема которого аналогична схеме 1-го мультивибратора. Регулировка этого мультивибратора про-

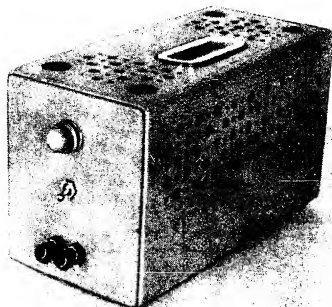


Фиг. 4.19. Электрическая схема СКГ-2.

изводится сопротивлениями  $R_{13}$  и  $R_{14}$ . Настройка ведется на частоту 50 гц. Таким образом, оба мультивибратора осуществляют 20-кратное деление частоты.

Следующий, буферный, каскад на лампе  $L_4$  (6Н8М) представляет собой обычный усилительный каскад. Емкость  $C_{14}$ , включенная параллельно анодной нагрузке ( $R_{24}$ ), служит для шунтирования высших гармоник, в результате чего подаваемые на вход каскада колебания почти прямоугольной формы принимают форму, близкую к синусоидальной.

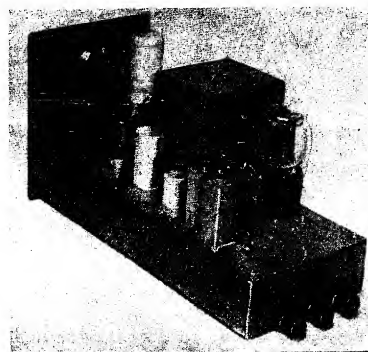
Оконечный каскад работает на лампе  $L_5$  (6П3), анодной нагрузкой которой является первичная обмотка трансформатора. Вторичная обмотка трансформатора вместе с емкостью  $C_{15}$  образует резонансный контур, настроенный на частоту 50 гц. Ко вторичной обмотке трансформатора подсоединяется синхронный моторчик. При подаче с выхода буферного каскада напряжения сигнала на сетку лампы  $L_5$ , что производится при включении тумблера  $K_{\text{ген}}$  на лицевой панели генератора, на обмотку синхронного моторчика подается напряжение порядка 127—130 в высокостабильной частоты 50 гц, вследствие чего моторчик вращается со строго постоянной скоростью. Регулировка величины выходного напряжения производится с помощью сопротивления  $R_{26}$ .



Фиг. 4.20. Общий вид СКГ-2.

Конструктивно кварцевый генератор оформлен в виде отдельного, самостоятельного прибора (см. фиг. 4.20 и 4.21). Для соединения прибора с источниками питания (+350 в, «земля» и 6,3 в переменного тока для накала нитей ламп) на задней стенке генератора установлены три клеммы. Выводы от вторичной обмотки трансформатора подаются на две клеммы «~127 в, 50 гц», из которых одна заземлена.

В схему кварцевого генератора входят следующие основные элементы: кварц типа КТ-1, 1 лампа 6АС7, 2 лампы 6Н7С, 1 лампа 6Н8М и 1 выходная лампа 6П3, анодный дроссель, трансформатор, сопротивле-



Фиг. 4.21. Вид СКГ-2 со снятым кожухом.

ния и емкости. Сопротивления и большинство емкостей расположены на 2 платах, помещенных вдоль боковых стенок шасси.

Емкости  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  и  $C_{15}$  крепятся к шасси с помощью хомутиков. Монтаж прибора закрывается металлическим кожухом, имеющим вентиляционные отверстия для охлаждения.

#### § 6. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ КОЛОДКИ ДЛЯ БОУ-2

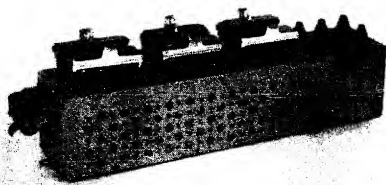
Распределительных колодок для блоков БОУ-2 в модели ИПТ-5 две: основная и дополнительная. Основная распределительная колодка предназначена для питания от блоков ЭСВ-1 и сопряжения с блоком управления модели 12 шт. БОУ-2. Через нее проходят цепи питания блоков БОУ-2: +350 в (1-го и 2-го каскадов УПТ-4), +350 в (3-го каскада), —350 в, +75 в, —190 в, 6,3 в (заземленного накала) и 6,3 в (незаземленного накала), цепи выходов и регулировки нулей усилителей УПТ-4, цепи задания начальных условий и цепи включения управляющих реле БОУ-2. В основной распределительной колодке БОУ-2 находятся сопротивления анодной нагрузки выходных каскадов усилителей постоянного тока БОУ-2. Для предохранения монтажа колодки от нагрева этими сопротивлениями последние помещаются в тепловой экран.

Общий вид основной распределительной колодки БОУ-2 показан на фиг. 4.22, а ее электрическая схема — на фиг. 4.24.

Конструктивно основная распределительная колодка БОУ-2 оформлена в виде отдельного удлиненного по форме блока. На верхней панели колодки расположены в два ряда (по 6 шт. в ряду) 12 двадцатиконтактных штеккерных гнезд для соединения со шлангами, идущими от блоков операционных усилителей. На боковых (торцевых) стенках колодки находятся по две 14-контактных штеккерных вилки с каждой стороны. К штеккерным вилкам, обозначенным гравировкой БП-I и БП-II, подключаются шланги от блока питания. Через штеккерную вилку БП-I подводится питание к штеккерам с 1-го по 6-й БОУ-2, а через штеккерную вилку БП-II — с 7-го по 12-й БОУ-2.

Фиг. 4.22. Общий вид основной распределительной колодки для БОУ-2.

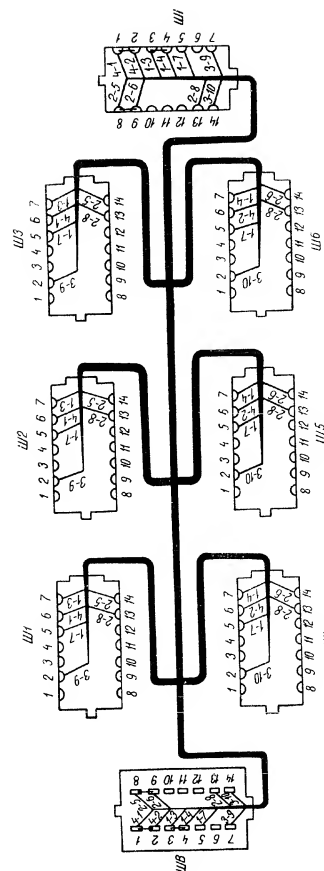
К штеккерам, расположенным на другой торцевой стенке колодки и обозначенным гравировкой «пульт управления I и II», подключаются шланги для соединения с блоком управления модели.



Фиг. 4.23. Общий вид дополнительной колодки для БОУ-2.

На боковой задней стенке основной колодки имеется карман из плексигласа для обозначения величин анодных нагрузок  $R_{a1} - R_{a12}$ , установленных внутри колодки. В конструкции колодки предусматривается возможность замены этих сопротивлений при эксплуатации модели.

Дополнительная распределительная колодка для БОУ-2 предназначена для соединения 6 шт. блоков операционных усилителей со вторым блоком питания ЭСВ-1 и для регулировки выходных напряжений усилителей УПТ. Как и на основной колодке, на ее верхней крышке расположены 6 двадцатиконтактных штеккерных гнезд для соединения с блоками БОУ-2 и 6 сдвоенных соседних потенциометров для регули-



Фиг. 4.26. Электрическая схема распределительной колодки для СБ-3.

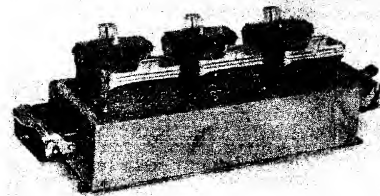
лировки нулей УПТ. На одной торцевой стенке этой колодки находится 14-контактная штеккерная вилка для соединения со шлангом блока питания, а на другой — кармашек из плексигласа и 6 клемм, соединенных с выходами БОУ-2. Эти клеммы предназначаются для включения контрольного прибора. В остальном дополнительная колодка для БОУ-2 аналогична основной колодке.

Фотография общего вида дополнительной колодки представлена на фиг. 4.23, а ее электрическая схема — на фиг. 4.25.

#### § 7. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ КОЛОДКИ ДЛЯ СБ-3

Распределительные колодки СБ-3 в модели ИПТ-5 служат для соединения сменных блоков переменных коэффициентов СБ-3 с блоком управления. Одна колодка СБ-3 рассчитана на обслуживание 6 сменных блоков. Всего в модели ИПТ-5 распределительных колодок СБ-3 — 3 шт.

Электрическая схема колодки СБ-3 представлена на фиг. 4.26, а фотография ее общего вида — на фиг. 4.27.



Фиг. 4.27. Общий вид колодки для СБ-3.

Конструктивно колодка СБ-3 оформлена в виде отдельного блока прямоугольной формы. На верхней крышке колодки расположены 6 четырнадцатиконтактных штеккерных гнезд. На боковой (торцевой) стенке колодки находится 14-контактная штеккерная вилка, около которой выгравирована надпись «пульт управления», а на другой стенке — четырнадцатиконтактное штеккерное гнездо, около которого имеется гравировка номера колодки. Каждая из колодок для СБ-3 может быть присоединена как к блоку управления модели, так и к другим колодкам с помощью шлангов. Возможно также непосредственное соединение двух колодок между собой.

## Глава 5

## МОНТАЖ МОДЕЛИ

Все электрические цепи в модели делятся на две категории: 1) цепи измерительные, к которым относятся цепи блоков операционных усилителей, цепи делителей напряжения в сменных блоках СБ-3 и СБ-4 и т.п., 2) цепи электромеханических узлов модели (напряжения постоянного тока 26 в) и цепи напряжения накала 6,3 в, 50 гц.

Во избежание внешних наводок в схеме модели ее измерительные цепи максимально удалены от цепей питания и связаны в отдельные жгуты. Наиболее важные цепи, как, например, цепи сеток входных ламп УПТ-4, выполнены экранированным кабелем РК-19.

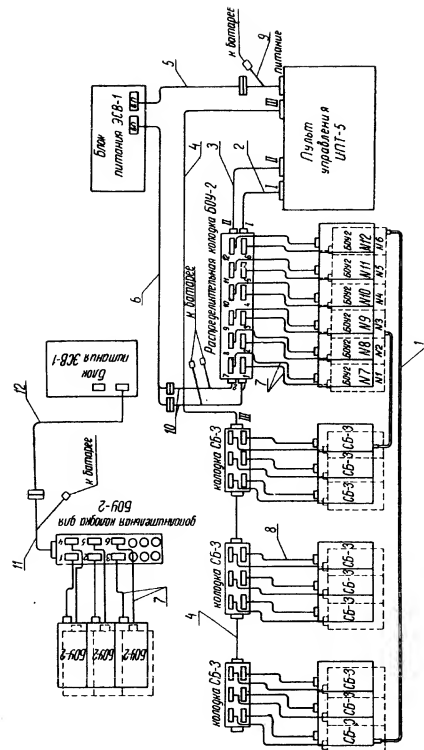
Цепи, по которым проходят пульсирующие токи напряжения постоянного тока 26 в, выполнены проводом до 1,5 мм<sup>2</sup> с экранированным чужком, хорошо заземленным. Цепи питания усилителей постоянного тока ведутся также отдельными экранированными жгутами, причем цепи накала ламп при питании нитей накала переменным током выполнены обособленными экранированными жгутами и для уменьшения наводок на измерительные цепи модели перебиты попарно между собой.

Для исключения перепада напряжения постоянного тока на различных участках земляной шины при питании накалов первых ламп усилителей УПТ-4 от источника напряжения постоянного тока и для устранения добавочной фоновой составляющей 50 гц при питании их от источника напряжения переменного тока цепи накала этих ламп ведутся изолированно от земли и заземляются только в одной точке у источника питания.

Земляная цепь у источника питания выполняется в виде медной шины, что обеспечивает надежное заземление схемы модели. Сама земляная шина должна иметь весьма хорошее и надежное заземление.

Отдельные блоки модели в общей схеме соединяются между собой при помощи кабельных соединений (см. фиг. 5.1). В кабелях, где совместно с измерительными цепями проходят цепи напряжения постоянного тока 26 в, имеется два экрана: первый обеспечивает разделение измерительных цепей от цепей питания и управления, второй — общий, наружный, экран. Сверху на всех кабелях (кроме идущих от блока питания) для удобства в эксплуатации надета виниловая или резиновая трубка.

Блоки операционных усилителей (БОУ-2) включаются в схему с помощью кабелей (7) через распределительную колодку для БОУ-2, с помощью которой можно включить 12 операционных усилителей. Распре-



Фиг. 5.1. Схема соединения блоков модели ИПТ-5.



делительная колодка БОУ-2 при помощи кабелей (2) и (3) соединяется с блоком управления.

Сменные блоки переменного коэффициента (СБ-3) включаются в схему через три колодки для СБ-3 при помощи кабелей (8). К каждой из трех колодок для СБ-3 можно присоединить 6 блоков переменного коэффициента. Эти колодки при помощи кабеля (4) соединяются с блоком управления.

В случае, когда необходимо иметь в схеме модели больше 12 операционных усилителей, применяется дополнительная колодка для БОУ-2, дающая возможность включить еще 6 операционных усилителей с помощью тех же кабелей, которые применяются для подключения БОУ-2 к основной колодке. Соединение блоков модели БОУ-2 с источниками питания может производиться в двух вариантах.

В первом варианте питание полностью производится от типового электронно-стабилизированного блока ЭСВ-1.

В этом случае напряжения от блока питания подаются на распределительную колодку для БОУ-2 при помощи кабеля (6) и на блок управления — при помощи кабеля (2).

На дополнительную колодку для БОУ-2 питание от второго блока питания подается через кабель (12).

Во втором варианте имеет место комбинированное питание. В этом случае напряжения  $+350$  в для питания 1-го и 2-го каскадов УПТ-4,  $+75$  в и  $-350$  в берутся от аккумуляторов. Все остальные напряжения подаются от блока питания ЭСВ-1.

Для питания схемы модели по второму варианту к кабелям питания (5, 6 и 12) подключаются дополнительные короткие кабели (9, 10 и 11), с помощью которых и осуществляется вышеуказанное комбинированное питание (схема кабельных соединений блоков при втором варианте питания изображена также на фиг. 5.1).

В обоих вариантах подключение к модели источников питания постоянного тока 26 в и переменного тока 127 в, 50 гц производится с помощью обычных шнуров, имеющих на конце двухконтактные вилки.

Сменные блоки постоянного коэффициента СБ-4, не указанные на схеме фиг. 5.1, подключаются к схеме модели при помощи специальных коммутационных шнуров. С помощью коммутационных шнуров осуществляются также все соединения между отдельными блоками модели при построении из них частных схем.

## Глава 6

### ПИТАНИЕ МОДЕЛИ

#### § 1. РЕЖИМЫ ПИТАНИЯ МОДЕЛИ

В модели ИПТ-5 используется питание двух типов:

1) питание измерительной части модели (усилителей постоянного тока УПТ-4, схемы задания начальных условий и постоянных возмущений) от высокостабильных источников,

2) питание электромагнитных механизмов блока управления, сменных блоков переменных коэффициентов СБ-3 и блоков операционных усилителей БОУ-2.

Основными потребителями электрической энергии в измерительной схеме модели являются усилители постоянного тока в блоках операционных усилителей. В таблице 1 приведены максимальные значения тока, потребляемого одним операционным усилителем в БОУ-2 в 4 режимах работы.

Таблица 1

$R_{\text{нз}} (\text{ком})$	$I_{\text{max}} (\text{ма})$						
	$+350$ в (1 и 2 каскады)	$+75$ в	$-350$ в	$-190$ в	$+350$ в	6,3 в заземл.	6,3 в не- заземл.
40	2	2	2	17,5	12	600	900
20	2	2	2	35	24	600	900
10	2	2	2	70	50	600	900
7,5	2	2	2	95	68	600	900

В таблице 2 представлены данные общего потребления электроэнергии моделью ИПТ-5 для случая, когда 9 БОУ-2 имеют анодные нагрузки 3-го каскада равными 20 ком, а аналогичные нагрузки других 9 БОУ-2 — равны 10 ком.

Таблица 2

$U (\text{в})$	$+350$ в (1 и 2 каскады)	$+75$ в	$-350$ в	$-190$ в	$+350$ в (3-й каскад)	6,3 в заземл.	6,3 в не- заземл.
$I_{\text{max}} (\text{ма})$	36	36	36	1000	729	10800	16200

Для питания модели ИПТ-5 рекомендуется применять два основных режима питания. В первом варианте все питание модели осуществляется от двух типовых электронно-стабилизированных блоков питания типа ЭСВ-1. При этом цепи источника  $+350$  в для 1, 2 и 3-го каскадов усилителя УПТ-4 объединяются вместе.

При втором варианте питания все питание модели осуществляется от двух блоков ЭСВ-1, кроме цепей  $+350$  в, 1 и 2-го каскадов УПТ-4,  $+75$  в и  $-350$  в, для питания которых используются аккумуляторные батареи типа 6А-АКН-2,25 м, являющиеся в неразряженном состоянии более стабильными источниками напряжения постоянного тока, чем блок питания ЭСВ-1.

Питание электромагнитных механизмов (шаговых переключателей и реле) и сигнальных лампочек в модели ИПТ-5 производится от источника напряжения постоянного тока  $24-26$  в. Это напряжение можно получить от мотор-генератора, от аккумуляторных батарей или от выпрямителя, имеющего на выходе хороший фильтр.

Наибольший ток, который может потребоваться от источника постоянного напряжения  $24-26$  в, равен  $10-15$  а.

## § 2. ЭЛЕКТРОННО-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ЭСВ-1

### 1. Назначение прибора

Блок питания ЭСВ-1 (электронно-стабилизированный выпрямитель) является основным источником питания модели ИПТ-5. Один блок питания может одновременно питать до 14 усилителей постоянного тока типа УПТ, работающих в режиме, при котором максимальный выходной ток УПТ равен  $10$  ма, при линейности характеристики усилителя  $U_{\text{вых}} = kU_{\text{вх}}$  в диапазоне изменения  $U_{\text{вх}}$ , равном  $\pm 120$  в.

Блок питания имеет на выходе четыре высокостабилизированных напряжения постоянного тока, имеющих следующие номинальные значения относительно «земли»:  $-350$ ,  $-190$ ,  $+75$  и  $+350$  в.

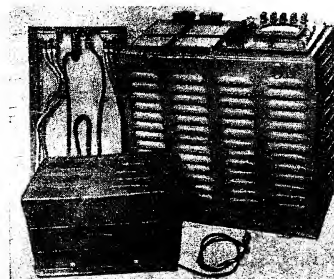
В таблице 3 приведены значения допустимых нагрузок для этих напряжений.

Напряжение (в)	Допустимая нагрузка (ма)
$-350$	50
$-190$	550
$+75$	50
$+350$	350

Кроме того, блок имеет два независимых выхода напряжения переменного тока  $6,3$  в с максимальными токами  $8,4$  и  $12,6$  а, необходимых для питания нитей накала ламп усилителей.

Блок питания включается в сеть  $220$  в,  $50$  гц через феррорезонансный стабилизатор типа ЭПЛ-58, коэффициент стабилизации которого составляет не менее 30. Общий коэффициент стабилизации каждого источника блока более 1500.

Блок имеет вольтметр класса 1,5, который служит для контроля



Фиг. 6.1. Общий вид блока питания ЭСВ-1 с феррорезонансным стабилизатором.

номинальных значений выходных напряжений постоянного тока.

Общий вид прибора в комплекте с ферростабилизатором дан на фиг. 6.1. Конструкция блока питания — полблочная, дающая удобный доступ к лампам и к монтажу.

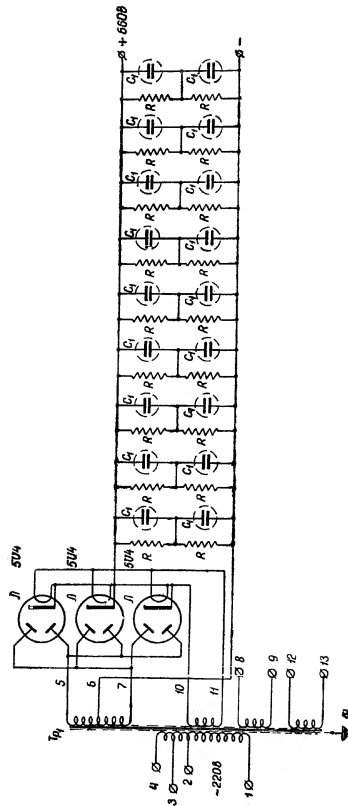
Время выезда прибора на стационарный режим — 30 мин. Практически, однако, блоком можно пользоваться уже спустя  $10-15$  мин. после его включения. Он допускает длительную, непрерывную эксплуатацию в лабораторных условиях при полной нагрузке.

Прибор состоит из четырех, по существу автономных, двухполупериодных выпрямителей с фильтрами и с усилителями-стабилизаторами. Он имеет общую панель управления и контроля всеми стабилизированными напряжениями.

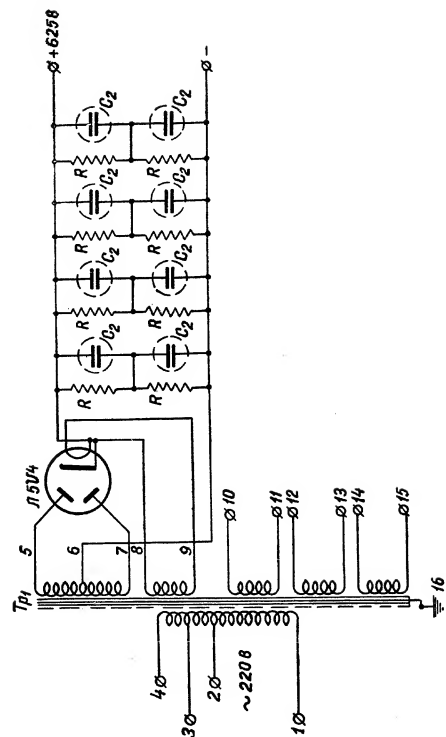
### 2. Выпрямители с фильтрами

На фиг. 6.2—6.5 даны электрические схемы выпрямителей с фильтрами для каждого из четырех источников. Каждый выпрямитель имеет свой силовой трансформатор. Схемы выпрямителей — двухполупериодные на кенотронах типа 5У4. Число кенотронов определяется максимальным током, отбираемым от выпрямителей.

Выпрямители имеют чисто емкостные фильтры, за исключением выпрямителя на  $-190$  в, в схеме фильтра которого имеется также дроссель. Величина емкостей фильтра различна, она пропорциональна отбираемому от источника току.

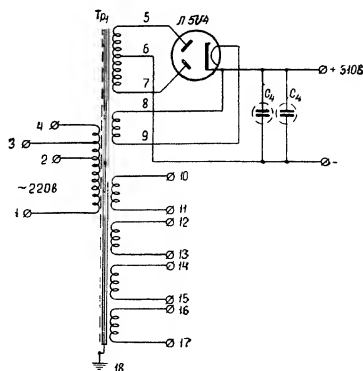


Фиг. 6.2. Схема выпрямителя с фильтрами для источника + 350 в.

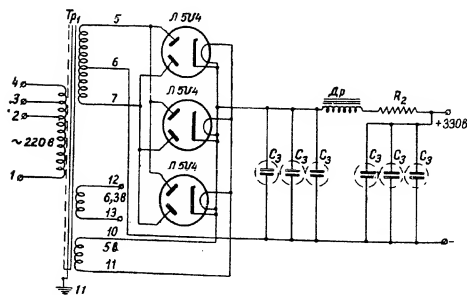


Фиг. 6.3. Схема выпрямителя с фильтрами для источника — 350 в.

Силовые трансформаторы и дроссель укрепляются непосредственно на раме прибора. Электролитические конденсаторы всех фильтров размещены на общей съемной плате.



Фиг. 6.4. Схема выпрямителя с фильтрами для источника +75 в.



Фиг. 6.5. Схема выпрямителя с фильтрами для источника -190 в.

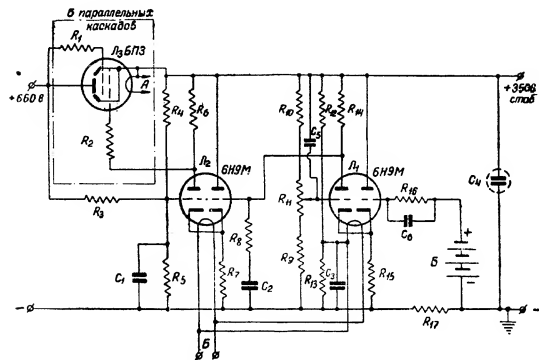
48

### 3. Усилители-стабилизаторы

Усилители-стабилизаторы источников блока питания отличаются друг от друга (за исключением источников — 350 и +350 в) принципиальной схемой стабилизатора, обеспечивающей для каждого отдельного случая наилучшие результаты стабилизации.

#### Стабилизаторы +350 и —350 в

Усилители-стабилизаторы этих источников идентичны. Каждый из них является усилителем постоянного тока с катодным повторителем на выходе. Усилитель замкнут сам на себя, т. е. находится в режиме стопроцентной отрицательной обратной связи.



Фиг. 6.6. Схема стабилизатора +350 в.

На фиг. 6.6 и 6.7 даны принципиальные схемы стабилизаторов источников +350 и —350 в.

Они отличаются друг от друга лишь тем, что в схеме стабилизатора +350 в для получения большого тока в нагрузке, вместо одной «пропускающей» лампы катодного повторителя, включено параллельно 6 ламп того же типа (6П3).

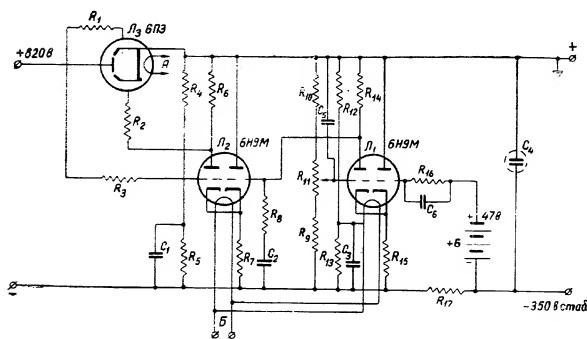
Усилитель стабилизаторов является двухкаскадным усилителем постоянного тока катодно-связанного типа на двойных триодах типа 6Н9М, имеющим большой коэффициент усиления. Эта схема при наладке не критична. Она имеет 3 управляющие сетки, служащие для подачи

49

входного напряжения (на 4-ю сетку лампы  $L_1$ ), эталонного напряжения сравнения (на 1-ю сетку лампы  $L_1$ ), по отношению к которому осуществляется стабилизация, и части нестабилизированного напряжения выпрямителя (на 4-ю сетку лампы  $L_2$ ) для обеспечения стабилизации по сети.

В качестве эталонного напряжения сравнения используется напряжение сухой батареи, равное 47 в.

Сопротивление  $R_1$  служит для более точной стабилизации схемы по нагрузочному току. Нагрузочная характеристика стабилизатора — па-



Фиг. 6.7. Схема стабилизатора — 350 в.

дающая. введение регулировочного сопротивления  $R_1$  может сделать нагрузочную характеристику поднимающейся, а при правильном подборе сопротивления — почти горизонтальной.

Номинальное напряжение на выходе стабилизатора (350 в) может устанавливаться потенциометром  $P_{11}$  входного делителя усилителя.

Емкости  $C_1$  и  $C_2$  введены в схему для фильтрации переменного напряжения, проникающего по цепи накала и с выхода выпрямителя.

$R_5$  — цепочка, состоящая из емкости  $C_1$  и сопротивления  $R_5$ , препятствует самовозбуждению усилителя.

Подбор величины сопротивления  $R_2$  обеспечивает горизонтальность характеристики, выражающей зависимость выходного стабилизированного напряжения от колебания напряжения сети.

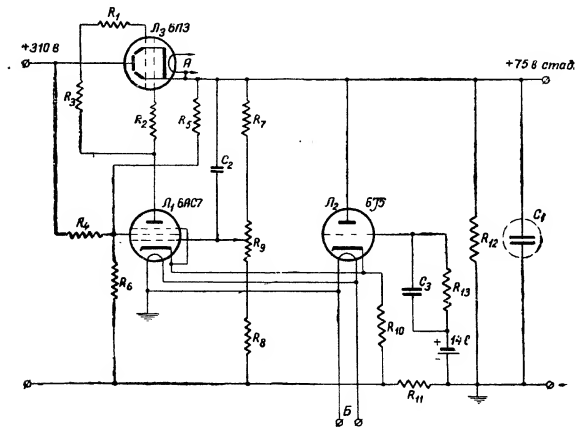
Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_4$ ,  $C_5$  и  $C_6$ .

Коэффициент стабилизации данной схемы без ферростабилизатора равен около 125.

50

#### Стабилизатор + 75 в

Электрическая схема стабилизатора дана на фиг. 6.8. В этой схеме применяется однокаскадный усилитель постоянного тока на пентоде типа 6АС7 ( $L_2$ ), имеющем большую крутизну. В качестве «пропускающей» лампы используется, как и в схеме + 350 в, лампа типа 6П3.



Фиг. 6.8. Схема стабилизатора + 75 в.

В качестве эталонного напряжения используется часть сухой батареи источника + 350 в (14 в). Это напряжение вводится в схему через катодный повторитель на лампе 6Л5.

Лампы 6АС7 и 6Л5 имеют общее катодное сопротивление и, таким образом, потенциал на катоде лампы 6АС7 задается постоянным. Входное напряжение усилителя поступает на четвертую сетку лампы 6АС7. На экранную сетку этой лампы через сопротивление  $R_4$  подается часть выходного нестабилизированного напряжения выпрямителя, обеспечивающая горизонтальность характеристики зависимости выходного напряжения от колебаний напряжений сети.

Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ .

Сопротивление  $R_1$  так же, как и в схемах источников напряжения 350 в, служит для точной стабилизации схемы по току нагрузки.

Получение высокого коэффициента стабилизации при относительно

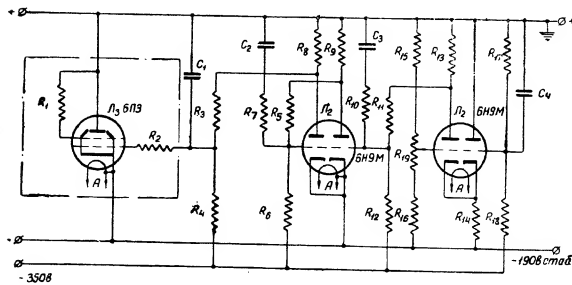
51

низком значении номинального напряжения (+75 в) представляет большую трудность. Данная схема значительно лучше других известных схем. Коэффициент стабилизации ее без ферростабилизатора равен около 50.

#### Стабилизатор — 190 в

Схема стабилизатора — 190 в принципиально отличается от схемы стабилизатора 350 в применением, вместо схемы с пропускающей лампой, схемы с шунт-лампой, т. е., по существу, она представляет собой электронный стабиловольт. Применение этой лампы обусловлено тем, что при весьма значительном токе, который должен давать источник — 190 в, схема с шунт-лампой является наиболее экономичной и целесообразной для данного номинального напряжения на выходе. Электрическая схема стабилизатора — 190 в приведена на фиг. 6.9.

Для обеспечения постоянства напряжения, подаваемого на лампы  $L_2$ , включенные параллельно входу, ток, проходящий через эти лампы, регулируется трехкаскадным усилителем постоянного тока (на двух двойных триодах типа 6Н9М), имеющим большой коэффициент усиления. Нагрузка подключается к выходу выпрямителя параллельно шунт-лампам.

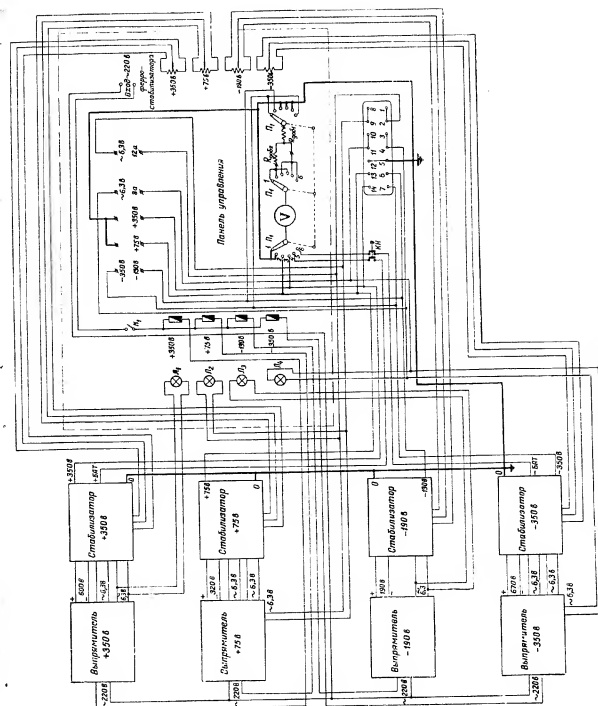


Фиг. 6.9. Схема стабилизатора — 190 в.

От выпрямителя потребляется максимальный и постоянный по величине ток, автоматически перераспределяемый схемой стабилизатора между внешней нагрузкой и шунт-лампами. При полной внешней нагрузке схема имеет максимально высокий к. п. д.

Применение схемы с шунт-лампой при малой ее нагрузке неэкономично и поэтому нерационально.

Лампа  $L_1$  является каскадом усиления катодно-связанного типа. Эталонное напряжение сравнения подается на одну сетку лампы от стабилизированного источника — 350 в через делитель  $R_1$  —  $R_{16}$ . На дру-



Фиг. 6.10. Общая электрическая схема блока ЭС-1.

ную сетку лампы усилителя подается входное напряжение. Номинальное напряжение на выходе устанавливается потенциометром  $R_{10}$ .

Лампа  $L_2$  является двухкаскадным усилителем постоянного тока, имеющим связь между каскадами через делители на сопротивлениях, подключаемых к источнику — 350 в, поэтому источник — 190 в не может работать без источника — 350 в.

Собственный коэффициент стабилизации источника — 190 в велик (около 1700), однако, ввиду непосредственной связи этого источника с источником — 350 в, дрейф на его выходе лишь вдвое меньше, чем у источника — 350 в.

Принцип построения схемы источника — 190 в и высокий коэффициент стабилизации позволяют не вводить в нее регулировки по сети и по току нагрузки.

RC-цепочки, состоящие из элементов  $C_2 + R_7$  и  $C_3 + R_{10}$ , и емкость  $C_1$  препятствуют самовозбуждению усилителя. Емкость  $C_4$  служит для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора.

#### 4. Общая электрическая схема прибора ЭСВ-1

На фиг. 6.10 приводится общая электрическая схема прибора ЭСВ-1, показывающая соединения его отдельных блоков.

Трансформаторы выпрямителей через свои предохранители и общий выключатель подключены ко входу питания, который включается в сеть 220 в, 50 гц через ферростабилизатор типа ЭПА-58. Четыре лампочки, расположенные на панели управления прибора, сигнализируют о включенном состоянии каждого из четырех стабилизированных источников блока.

Напряжения с фильтров выпрямителей поступают на схемы стабилизаторов. Выходные стабилизированные напряжения, а также 2 накаливающих напряжения: 6,3 в, 8,4 а и 6,3 в, 12,6 а, которые берутся с трансформаторов источников — 350 в и + 75 в, поступают на выходные клеммы и на два выходных штеккерных гнезда.

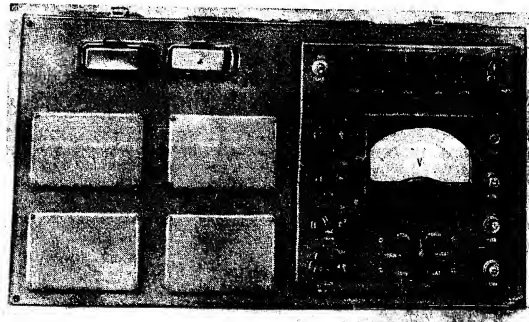
Все потенциометры стабилизаторов, служащие для регулировки и установки выходных номинальных напряжений, вынесены на панель управления блока питания и помещаются рядом с контрольным вольтметром блока, который может подключаться переключателем поочередно к каждому из выходов стабилизаторов и к выводам двух номинальных значений напряжений сухой батареи.

#### 5. Конструкция прибора

Общий вид блока питания типа ЭСВ-1 дан на фиг. 6.1. На фиг. 6.11 дан вид верхней панели прибора с панелью управления. На фиг. 6.12 дан вид на блок со стороны ламп, а на фиг. 6.13 — вид на прибор со стороны монтажа.

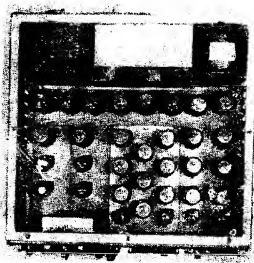
На цельносварном металлическом каркасе (раме) (см. фиг. 6.12) внизу укреплены в ряд 4 силовых трансформатора источников: + 350, — 190, — 350 и + 75 в (слева направо).

В центре перед трансформаторами помещена в защитном кожухе сухая батарея эталонных напряжений, а справа от нее находится дрос-

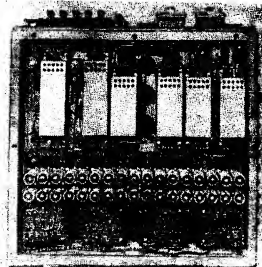


Фиг. 6.11. Вид верхней панели блока питания.

сель источника — 190 в и добавочное сопротивление  $R_1$  выпрямителя источника — 190 в (фиг. 6.5).



Фиг. 6.12. Вид на блок со стороны ламп (со снятой боковой крышкой).



Фиг. 6.13. Вид на блок со стороны монтажа (со снятой боковой крышкой).

Над трансформаторами расположена плата с кенотронами. Над ней помещаются четыре съемные платы стабилизатора.

Лампы в блоке располагаются горизонтально и крепятся пружинными ламповыми держателями.

С обратной стороны (со стороны монтажа) против платы с кенотронами расположена съемная плата с электролитическими конденсаторами фильтров выпрямителей (см. фиг. 6.13).

На верхней съемной плате (фиг. 6.11) находится панель управления прибором.

В центре панели расположен двухшкальный контрольный стрелочный вольтметр (на 100 и 400 в) блока, а под ним — ручка переключателя, служащего для подключения вольтметра к выходам стабилизаторов и к двум контролируемым напряжениям эталонных батарей.

Слева от вольтметра находятся предохранители и сигнальные лампы трансформаторов, а справа — потенциометр установки номиналов стабилизированных напряжений.

Над вольтметром расположены клеммы выходных напряжений блока, сетевой тумблер и вилка входа шланга питания.

На фото фиг. 6.11 видны два выходных штеккера, являющиеся выходами блока питания.

Для обеспечения необходимой вентиляции верхняя панель имеет «фонари», на всех боковых стенках имеются жалюзи, а дно сделано перфорированным.

Для защиты стрелочного вольтметра от нагрева он имеет кожух с асбестовой прокладкой.



**ЭЛЕКТРОННАЯ  
ЛИНЕЙНАЯ  
МОДЕЛЬ  
типа ИПТ-4**

Москва

1951

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛИНЕЙНАЯ  
МОДЕЛЬ  
типа ИПТ-4

Москва

1951

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора . . . . .	Стр. 3
Глава 1	
Назначение и основные технические характеристики электронной линейной модели типа ИПТ-4	
Глава 2	
Принцип построения схемы модели	
§ 1. Принцип действия интегрирующих блоков . . . . .	8
§ 2. Принцип ввода коэффициентов исследуемой системы . . . . .	13
§ 3. Вспомогательные блоки модели . . . . .	16
Глава 3	
Блок-схема модели и ее общее конструктивное оформление	
Глава 4	
Блоки модели	
§ 1. Блок основных усилителей (интегрирующий блок) . . . . .	21
§ 2. Усилитель постоянного тока УПТ-4 . . . . .	25
§ 3. Сменный блок переменного коэффициента (СБ-1) . . . . .	28
§ 4. Сменный блок постоянного коэффициента (СБ-2) . . . . .	30
§ 5. Блоки сопряжения с реальным регулятором . . . . .	33
§ 6. Блок управления . . . . .	38
§ 7. Специальный генератор импульсов СГИ-1 . . . . .	45
§ 8. Специальный кварцевый генератор СКГ-1 . . . . .	48
Глава 5	
Монтаж модели	
§ 1. Цепи питания усилителей постоянного тока . . . . .	52
§ 2. Цепи основной измерительной части блоков модели . . . . .	54
§ 3. Цепи управления электромеханических узлов модели и цепи питания 24 в постоянного тока . . . . .	—
Глава 6	
Питание модели	
§ 1. Режимы питания блоков модели . . . . .	56
§ 2. Питание измерительной схемы модели . . . . .	—
§ 3. Электронно-стабилизированный блок питания ЭСВ-1 . . . . .	57
§ 4. Питание электромагнитных механизмов и вспомогательных цепей модели . . . . .	67

Развитие современной науки и техники связано с глубоким и всесторонним исследованием динамики сложных систем. К числу таких систем относятся системы автоматического регулирования различных процессов, синхронно-следящие системы, системы дистанционного управления объектами и т. п.

С математической точки зрения исследование динамики таких систем приводит к решению линейных и нелинейных уравнений высокого порядка. При этом самые различные по своей физической природе процессы могут описываться одной и той же системой уравнений. Современная наука располагает большим количеством примеров таких аналогий, однако, в настоящее время решение и исследование линейных дифференциальных уравнений высокого порядка с постоянными, и в особенности с переменными коэффициентами, а тем более нелинейных уравнений, описывающих эти процессы, является чрезвычайно трудоемкой задачей, требующей весьма длительных вычислений. Выходом из этого является применение метода моделирования и, в частности, электрического моделирования. Этот метод базируется на построении таких электрических схем, переходные процессы в которых соответствуют протеканию исследуемых реальных процессов.

Поэтому исследование поведения электрических моделей делает возможным определение динамических характеристик отображаемых ими объектов. При помощи электрических моделей можно быстро и точно осуществлять в лабораторных условиях решение весьма сложных задач динамики управляемых или регулируемых объектов, существующих в действительности или имеющих только в проекте. При соединении модели с реальной аппаратурой регулирования или управления возможно провести все испытания, связанные с подбором наилучших параметров для такой системы в целях получения заданных ей технических данных. Такие испытания могут быть произведены в режиме, приближающемся к действительной эксплуатации объекта.

Электрические модели могут быть выполнены и так, что их основной частью будет являться электронинтегратор, пригодный для решения систем дифференциальных уравнений. В этом случае исследователи могут в короткие отрезки времени производить весьма сложные математические операции, на которые в обычных условиях могли бы потребоваться месяцы напряженной работы целого вычислительного бюро. При таком совмещении в одном приборе модели и интегратора становится возможным сначала, на основе теоретических исследований и расчетов работ на нем, предварительно выбрать наилучшую систему управления.

мого или регулируемого объекта, а затем, построив реальную аппаратуру управления этим объектом, произвести ее доработку и регулировку в динамическом режиме, соответствующем реальным условиям работы.

Ниже приводится описание такой электронной линейной модели интегратора матричного типа, пригодного для решения систем дифференциальных уравнений до 6-го порядка с постоянными и переменными коэффициентами.

При сопряжении с реальным регулятором или приборами управления такая модель — эквивалент объекта — образует замкнутую линейную или нелинейную систему высокого порядка (до 12-го и выше).

Вместо реальных регуляторов, входы и выходы модели могут замыкаться другой моделирующей схемой, состоящей, например, из отдельных блоков модели структурного типа.

## Глава I

### НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ТИПА ИПТ-4

Электронная линейная модель типа ИПТ-4, предназначена для исследования динамики регулируемых объектов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями вида

$$\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j + f_i(t); \quad i=1, 2, 3 \dots n, \quad (1.1)$$

где:  $x_i$  и  $x_j$  — зависимые переменные от времени  $t$ ,

$f_i(t)$  — возмущающие воздействия,

$a_{ij}(t)$  — коэффициенты интегрируемой системы.

Описываемая модель является моделью матричного типа и может быть использована в двух основных режимах работы: либо как математическая счетная машина для интегрирования систем линейных дифференциальных уравнений (электронинтегратор), либо как динамическая модель объекта при исследовании реальных автоматических регуляторов или приборов управления.

Возможность ее применения в качестве динамической модели обуславливается тем, что она построена из блоков непрерывного действия, причем независимой переменной при интегрировании системы (1.1) является истинное время. Ниже приводятся основные технические характеристики модели ИПТ-4.

1. Установка ИПТ-4 является электронной линейной моделью шестого порядка, состоящая из шести идентичных секций, каждая из которых интегрирует одно из уравнений первого порядка системы (1.1).

2. Модель предусматривает возможность ввода всех 36 или любого меньшего количества коэффициентов  $a_{ij}(t)$  основной матрицы (1.2) интегрируемой системы (1.1):

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

Коэффициенты  $a_{ij}(t)$  могут быть как постоянными, так и переменными (зависимыми от времени).

На модели каждый коэффициент матрицы (1.2) устанавливается в виде произведения двух сомножителей, одним из которых является масштабный коэффициент  $K_{M1}$ , общий для всех коэффициентов одного

уравнения системы (1.1) и определяющий их масштаб, а другим сомножителем является коэффициент  $a_{ij}(t)$ , с помощью которого устанавливаются значащие цифры этих коэффициентов:

$$a_{ij}(t) = K_{M1} a_{ij}(t).$$

Величина масштабного коэффициента  $K_{M1}$  находится в пределах от 500 до 0,01 и имеет значения: 500, 100, 50, 10, 1, 0,01.

Постоянные коэффициенты интегрируемой системы набираются с точностью до 0,1%, а переменные коэффициенты с точностью до 1% величины  $K_{M1}$ .

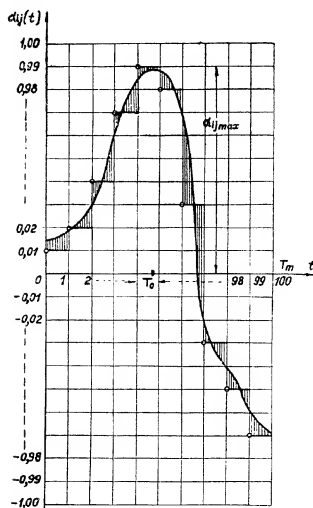
Графики переменных коэффициентов в модели аппроксимируются с помощью кусочно-постоянных кривых (ступенчато) и строятся по так называемым узловым или опорным точкам наборной сетки на плоскости, координатными осями которой являются ось времени  $t$  и ось величин переменного коэффициента  $a_{ij}(t)$  (см. фиг. 1.1).

Наборная сетка образуется в результате разбиения рабочего диапазона на 100 равных интервалов  $T_0$  по оси времени и на 200 равных интервалов (от -1 до +1) по оси  $a_{ij}(t)$ .

$T_0$  — длительность одного интервала развертки переменного коэффициента по времени — является величиной, общей для всех коэффициентов модели, и может быть установлена равной 1,5, 1,0, 0,75, 0,5, 0,25 и 0,1 сек., в зависимости от длительности исследуемого процесса.

Время полного рабочего цикла модели, соответствующее 100 интервалам  $T_0$  по оси времени, при этом имеет значения 150, 100, 75, 50, 25 и 10 сек.

Для увеличения точности набора переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в каждый переменный коэффициент на модели вводится дополнительный



Фиг. 1.1. Принцип аппроксимации графика переменного коэффициента.

индивидуальный масштабный множитель  $K_{aj}$  таким образом, чтобы имело место равенство

$$a_{ij}(t) = a_{ij}^*(t) K_{aj} K_{M1},$$

где

$$a_{ij}^*(t) K_{aj} = a_{ij}(t).$$

Коэффициент  $K_{aj}$  может иметь значения 1, 0,75, 0,5, 0,25, 0,1. Если максимальное значение аппроксимируемого графика  $a_{ij}^*_{max}$  при  $K_{aj} = 1$  мало, то за счет уменьшения масштабного коэффициента  $K_{aj}$  можно увеличить  $a_{ij}^*_{max}$  и тем самым аппроксимировать график переменного коэффициента большим числом ступеней по оси ординат.

3. Зависимые переменные  $x_i(t)$  системы (1.1) на модели выражаются в виде мгновенных значений напряжения постоянного тока  $U_i(t)$ , причем диапазон их изменения лежит в пределах  $\pm 100$  в.

Величины всех шести переменных  $x_i(t)$  и их производные  $\frac{dx_i(t)}{dt}$  можно одновременно наблюдать по стрелочным приборам, имеющимся на модели. Кроме того, для регистрации их с помощью внешних приборов, например, на шлейфовых осциллографах, значения  $x_i(t)$  и  $\frac{dx_i(t)}{dt}$  выведены на клеммы на лицевой панели модели.

4. Начальные условия для всех шести переменных  $x_i(t)$  задаются на модели в диапазоне  $\pm 100$  в.

5. Для сопряжения с реальным регулятором модель ИПТ-4 имеет выходной блок с тремя выходами и входной блок с тремя входами. Входные величины на модель должны поступать в виде напряжения постоянного тока. Любая из входных величин может быть умножена на переменный коэффициент, график которого аппроксимируется вышеуказанным способом. Переменных коэффициентов, обслуживающих входной блок, в модели всего шесть.

6. В каждую секцию модели, интегрирующую одно уравнение системы (1.1), можно вводить до трех внешних воздействий, которые могут быть либо внешними возмущающими силами, либо выходными величинами реального регулятора.

7. Точность воспроизведения системы (1.1) на модели ИПТ-4 определяется следующими основными факторами:

- 1) точностью выполнения отдельных математических операций в блоке основных усилителей модели, которая равна  $\pm 0,2\%$ ;
- 2) точностью установки на модели коэффициентов интегрируемой системы, равной  $\pm 0,5\%$  значения масштабного коэффициента;
- 3) дрейфом усилителей постоянного тока, который при интегрировании на модели системы уравнений (1.1) играет роль малых возмущающих сил. В модели дрейф усилителей постоянного тока, приведенный к их входу, не превышает 1—2 мв за 10 мин;
- 4) точностью задания начальных условий, которая равна  $\pm 1\%$  максимального значения шкалы прибора установки начальных условий.

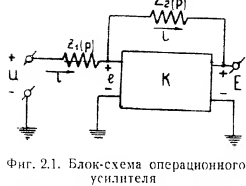
## Глава 2

## ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СХЕМЫ МОДЕЛИ

При решении системы дифференциальных уравнений (1.1) модель осуществляет над переменными  $x_i(t)$  математические операции интегрирования, суммирования, умножения на постоянные и переменные коэффициенты и инвертирования (изменения знака на противоположный), причем эти операции производятся с высокой точностью и со строгим учетом знаков у переменных  $x_i(t)$  и коэффициентов  $a_{ij}(t)$  интегрируемой системы. Совершаются эти операции в модели счетно-решающими блоками двух основных типов: интегрирующими блоками и блоками ввода постоянных и переменных коэффициентов, принцип действия которых описывается в данной главе.

## § 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ИНТЕГРИРУЮЩИХ БЛОКОВ

Интегрирующие блоки модели выполняют операции интегрирования, суммирования, инвертирования и умножения на масштабный коэффициент  $K_{\text{м}}$  всех коэффициентов  $a_{ij}(t)$  интегрируемого уравнения, причем для осуществления этих математических операций используются операционные усилители постоянного тока.



Фиг. 2.1. Блок-схема операционного усилителя

Действие операционных усилителей основывается на применении усилителя постоянного тока с большим коэффициентом усиления и глубокими отрицательными обратными связями (см. фиг. 2.1).

Если усилитель постоянного тока имеет отрицательный коэффициент усиления  $K$  и бесконечно большое входное сопротивление, то уравнения, описывающие схему фиг. 2.1, могут записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} E(p) &= -e(p)k, \\ U(p) - e(p) &= iZ_1(p), \\ e(p) - E(p) &= iZ_2(p). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Отсюда следует, что оператор такого звена равен

$$K(p) = \frac{E(p)}{U(p)} = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p) + \frac{1}{k} [Z_1(p) + Z_2(p)]}$$

или

$$K(p) = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{k} \left[ 1 + \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)} \right]}. \quad (2.2)$$

Как видно из выражения (2.2), оператор звена при коэффициенте усиления усилителя  $k \rightarrow \infty$  не зависит от величины  $K$  и равен

$$K(p) = - \frac{Z_2(p)}{Z_1(p)}. \quad (2.3)$$

Если

$$Z_1(p) = R_1, \text{ а } Z_2(p) = R_2,$$

то:

$$K(p) = - \frac{R_2}{R_1}. \quad (2.4)$$

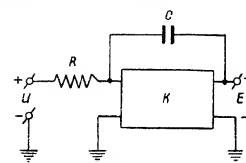
и звено является усилительным (или, точнее, масштабным). В частном случае, при  $R_1 = R_2$ , оно, не изменяя переменной по величине, меняет ее знак на обратный, т. е. служит инвертным звеном.

При

$$Z_1(p) = R \text{ и } Z_2(p) = \frac{1}{pC}$$

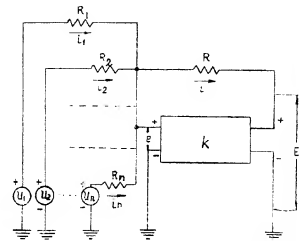
$$K(p) = - \frac{1}{pRC}, \quad (2.5)$$

т. е. звено становится интегрирующим (см. фиг. 2.2) с постоянной времени, равной  $T = RC$ .



Фиг. 2.2. Блок-схема интегрирующего звена.

С помощью схемы включения обратных связей на усилитель постоянного тока, приведенной на фиг. 2.3, осуществляется суммирование нескольких величин.



Фиг. 2.3. Блок-схема суммирующего звена.

Эта схема описывается следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n i_j &= i_0, \\ i_j &= \frac{e - U_j}{R_j}, \\ i_0 &= \frac{E - e}{R_0}, \\ E &= -ke. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Откуда:

$$E \left[ 1 + \frac{1}{k} \left( 1 + R_0 \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} \right) \right] = -R_0 \sum_{j=1}^n \frac{U_j}{R_j}.$$

В пределе, когда  $k \rightarrow \infty$ , а  $n$  невелико:

$$E = -R_0 \sum_{j=1}^n \frac{U_j}{R_j}. \quad (2.7)$$

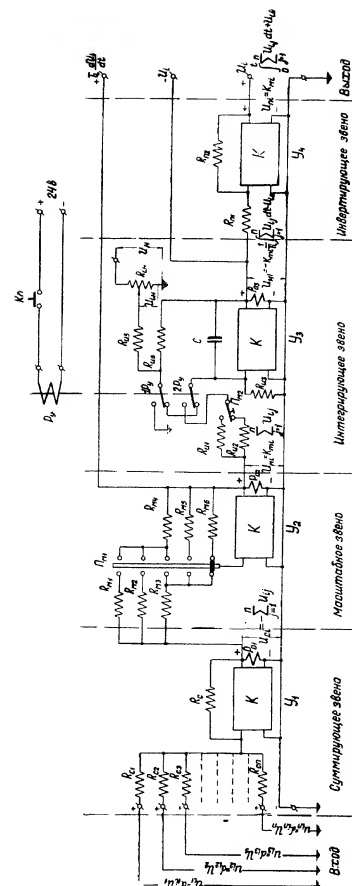
В модели в качестве усилителя постоянного тока применяется усилитель типа УПТ с коэффициентом усиления  $k \approx 40\,000$ . При таком коэффициенте усиления точность выполнения рассмотренных математических операций в основном определяется точностью изготовления импедансов обратных связей  $Z_1$  и  $Z_2$ .

Принципиальная схема интегрирующего блока, или, иначе, блока основных усилителей, приведена на фиг. 2.4. Блок состоит из четырех звеньев: суммирующего, масштабного, интегрирующего и инвертирующего. На вход суммирующего усилителя  $Y_1$  блока подаются величины  $u_{ij} = \alpha_j(t) U_j$ . При этом напряжение на выходе суммирующего звена

$U_{c1} = -\sum_{j=1}^n u_{ij}$ . Далее напряжение  $U_{c1}$  умножается на масштабный

коэффициент с помощью масштабного усилителя  $Y_2: U_{M1} = -K_{M1} \sum_{j=1}^n u_{ij}$

и подается на вход интегрирующего звена. Интегрирующее звено в блоке представляет собой операционный усилитель с двумя режимами включения. Когда управляющее реле  $P_y$  в блоке обесточено, то усилитель постоянного тока интегрирующего звена  $Y_3$  включен по схеме инерционного звена. Емкость  $C$  в этом режиме может быть заряжена до любого требуемого значения (от 0 до  $\pm 100$  в) с помощью потенциометра  $R_H$ , что соответствует заданию начального условия для выходной переменной интегрирования  $U_1$  блока основных усилителей.



Фиг. 2.4. Блок-схема интегрирующего блока (блока основных усилителей).

Кроме того, при обесточенном управляющем реле последовательная цепь, состоящая из усилителей блока, оказывается разомкнутой, так как вход интегрирующего усилителя оказывается отсоединенным от выхода масштабного звена.

При срабатывании управляющего реле звено преобразуется из инерционного в интегрирующее, и его вход соединяется с выходом масштабного усилителя. Напряжение на выходе интегрирующего звена при этом становится равным

$$U_{\text{ин}} = -\frac{1}{T_i} K_{\text{ми}} \int_0^t \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) U_j dt + U_{\text{ио}}. \quad (2.8)$$

Инверсный усилитель подключен к выходу интегрирующего звена постоянно; его выходное напряжение  $U_{\text{ин}}$  равно  $-U_{\text{ио}}$ , т. е.

$$U_{\text{ин}} = +U_i = \frac{1}{T_i} K_{\text{ми}} \int_0^t \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) U_j dt + U_{\text{ио}}$$

или

$$U_{\text{ин}} = \int_0^t \sum_{j=1}^n K_{\text{ми}} a_{ij}(t) U_j dt + U_{\text{ио}}, \quad (2.9)$$

где  $K_{\text{ми}} = K_{\text{ми}} \frac{1}{T_i}$ .

Таким образом, если принять, что напряжение на выходе инверсного усилителя  $U_{\text{ин}}$  равно  $+x_i$ , выходное напряжение интегрирующего усилителя  $U_{\text{ин}}$  равно  $-x_i$ , то уравнение, описывающее динамику интегрирующего блока в целом, полностью соответствует по форме уравнениям системы (1.1), причем коэффициенты  $a_{ij}(t)$  получаются на модели в виде произведения трех сомножителей:

$$a_{ij}(t) = x_{ij}(t) K_{\text{ми}} \cdot \frac{1}{T_i}$$

и коэффициенты  $K_{\text{ми}}$  и  $\frac{1}{T_i}$  являются общими для всех коэффициентов уравнения одной строки. Их значения устанавливаются с помощью переключателей  $П_{\text{м1}}$  и  $П_{\text{м2}}$ . Масштабный коэффициент  $K_{\text{ми}}$  имеет 5 значений: 50; 10; 1; 0,1; 0,01, а постоянная времени интегрирования  $T_i$  два: 1 сек и 0,1 сек.

Суммирующий усилитель в блоке основных усилителей имеет 9 входов, на которые подаются переменные  $U_j$ , умноженные на соответствующие коэффициенты  $a_{ij}(t)$ , а также внешние возмущающие воздействия  $f_i(t)$ .

12

Для предотвращения неправильного решения, вследствие перехода переменных  $U_i$  за допустимые пределы значений выходных напряжений усилителей, на выходе суммирующего, масштабного и интегрирующего звеньев предусмотрены специальные ограничительные реле. Эти реле срабатывают при переходе выходных напряжений этих усилителей за пределы  $\pm 100$  в.

## § 2. ПРИНЦИП ВВОДА КОЭФИЦИЕНТОВ ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Блок ввода коэффициентов имеет своей основной функцией воспроизведение во времени графиков коэффициентов  $a_{ij}(t)$ , которые отличались бы от графиков коэффициентов  $a_{ij}(t)$  системы (1.1) только масштабом.

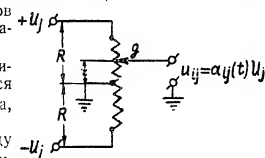
Получение переменных коэффициентов  $a_{ij}(t)$  в модели осуществляется с помощью схемы потенциометра, изображенной на фиг. 2.5.

Выходное напряжение  $U_{ij}$  между движком потенциометра и землей будет равно  $x_{ij}(t) U_j$  в том случае, если движок потенциометра перемещается таким образом, что отношение  $r$  между движком и началом потенциометра к полному сопротивлению потенциометра  $R$  в каждый момент времени будет равно значению соответствующей ординаты на графике переменного коэффициента  $a_{ij}(t)$  (см. фиг. 2.6):

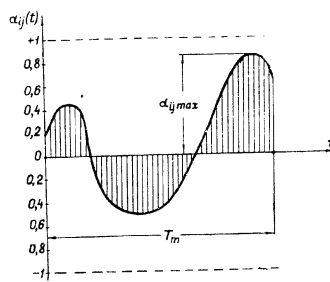
$$x_{ij}(t) = \frac{r(t)}{R}. \quad (2.10)$$

Роль потенциометра, движок которого перемещается по заданной программе, в модели выполняет устройство, представленное на фиг. 2.7.

С помощью шагового переключателя  $И$  (типа искателя ШИ 50/4), на обмотку которого подаются импульсы с некоторой постоянной частотой  $f$ , осуществляется скачкообразное перемещение движка потенциометра  $д$ , представленного на фиг. 2.5, что эквивалентно разбиению графика воспроизводимого переменного коэффициента на равные интервалы  $T_0$  по оси времени. За один рабочий цикл шаговый переключатель делает



Фиг. 2.5. Принцип действия переменного коэффициента.

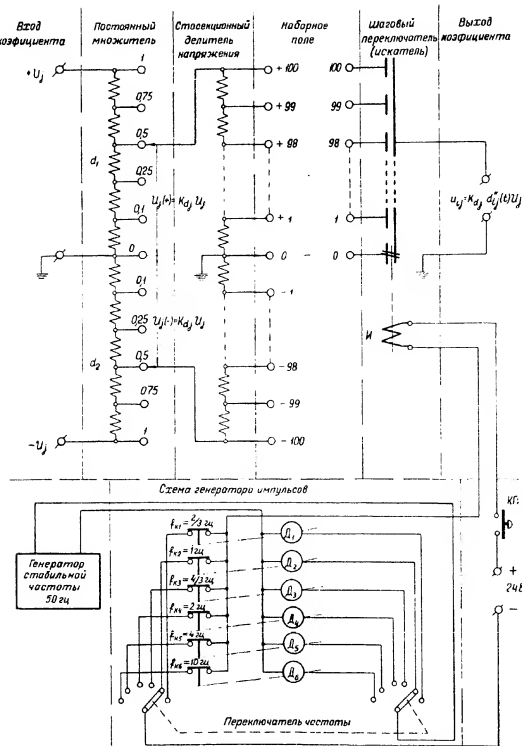


Фиг. 2.6. График  $x_{ij}(t)$ .

13



сто шагов и возвращается в исходное положение на нулевую ламель. При этом график переменного коэффициента разбивается по оси времени на 100 равных интервалов. Внутри каждого интервала величина коэф-



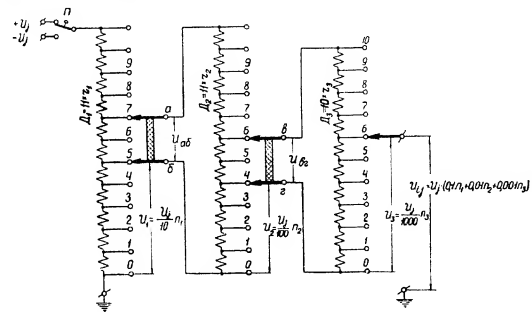
Фиг. 2.7. Принципиальная схема блока переменного коэффициента.

фициента остается неизменной и может устанавливаться с помощью двух стоксционных делителей напряжения  $D_1$  и  $D_2$  путем соединения ламелей искателя с соответствующими выводами делителей на специальном наборном поле. При этом набор значений  $\alpha_{ij}(t)$  производится по узловым точкам наборной сетки, образуемой в результате разбиения графика коэффициента по оси времени (от 0 до  $T_m$ ) и по оси ординат (от +1 до 0 и от 0 до -1) на 100 равных участков.

Таким образом, при перемещении щеток искателя по ламелям напряжение на выходе такой схемы будет равно  $u_{ij} = \alpha_{ij}(t) U_j$ , где величина  $\alpha_{ij}(t)$  является кривой, ступенчато аппроксимирующей график воспроизводимого коэффициента.

Для более точной аппроксимации графиков переменных коэффициентов, т. е. для аппроксимации возможно большим числом ступеней, независимо от их величины и времени развертки, предусмотрены постоянный масштабный множитель  $K_{aj}$  и возможность изменения величины  $T_0$  с помощью изменения частоты импульсов, подаваемых на обмотку электромагнита искателя. Масштабный коэффициент  $K_{aj}$  имеет значения: 1, 0.75, 0.5, 0.25, 0.1, а величина  $T_0 = \frac{T_m}{100} = 1.5, 1.0, 0.75, 0.5, 0.25$  и 0.1 сек. Соответственно длительность одного рабочего цикла работы схемы модели  $T_m$  равна 150, 100, 75, 50, 25 и 10 сек.

Для стабилизации частоты  $f$  переключений щеток искателя  $I$ , с тем чтобы длительность интервала  $T_0 = \frac{1}{f}$  точно соответствовала заданным на модели величинам, в модели применяется кварцевый генератор (см. Фиг. 2.7).



Фиг. 2.8. Принципиальная схема блока постоянного коэффициента.

Ввод постоянных коэффициентов осуществляется аналогично переменным коэффициентам с помощью декадного делителя напряжения, представленного на Фиг. 2.8.

Делители напряжения  $D_1$  и  $D_2$  имеют по одиннадцати секций равных сопротивлений, а делитель  $D_3$  — 10 секций. При принятых в схеме величинах для  $r_1$ ,  $r_2$ , и  $r_3$  имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} r_3 &= 0,2r_2, \\ r_2 &= 0,2r_1. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Сопротивления между движками  $a$  и  $b$  и между  $b$  и  $z$ , таким образом, будут равны:

$$\begin{aligned} r_{ab} &= \frac{2r_1 \cdot 10 \cdot 0,2r_1}{2r_1 + 10 \cdot 0,2r_1} = r_1, \\ r_{bz} &= \frac{2r_2 \cdot 10 \cdot 0,2r_2}{2r_2 + 10 \cdot 0,2r_2} = r_2. \end{aligned}$$

Поэтому, независимо от положения движков  $a$ ,  $b$ ,  $z$ , на делитель  $D_3$  будет всегда подаваться напряжение  $U_{ab} = \frac{U_1}{10}$ , а на делитель  $D_2$  напряжение  $U_{bz} = \frac{U_1}{100}$ .

Таким образом, напряжение на выходе схемы (2.8) будет равно  $U_{ij} = U_1 0,1(n_1 + 0,1n_2 + 0,01n_3)$ , где  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  — номера выводов секций делителей ( $n_1$  и  $n_2$  меняются от 0 до 9, а  $n_3$  — от 0 до 10). С помощью  $n_1$  набирается первая, с помощью  $n_2$  — вторая и с помощью  $n_3$  — третья значащие цифры постоянного коэффициента при переменной  $U_1$ . Знак коэффициента изменяется с помощью переключателя  $\Pi$ .

### § 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ МОДЕЛИ

Кроме главных блоков модели: блока основных усилителей и блоков переменных и постоянных коэффициентов, в модели имеются еще два вспомогательных узла: блок управления моделью и блоки сопряжения ее с реальным регулятором.

Блок управления обслуживает блоки ввода переменных коэффициентов и блоки основных усилителей. С его помощью осуществляется контроль и настройка схемы в целом, ее пуск, остановка и возврат в исходное положение отдельных ее узлов. Подробно работа блока управления рассматривается ниже.

Блоки сопряжения модели с реальными регулятором состоят из двух самостоятельных частей: из входного блока и выходного блока. Основной их функцией является введение коэффициентов согласования модели с реальным регулятором, что производится с помощью масштабных усилителей постоянного тока, аналогичных тем, которые применяются в блоке основных усилителей. Входной блок имеет три входа и 6 переменных коэффициентов, а выходной блок — 3 выхода, на каждый из которых может быть подана любая из шести переменных интегрирования.

Более подробное описание входного и выходного блоков приведено ниже.

## Глава 3

### БЛОК-СХЕМА МОДЕЛИ И ЕЕ ОБЩЕЕ КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

В соответствии с принципом действия модели ИПТ-4 ее блок-схема, приведенная на фиг. 3.1, состоит из 3 основных частей: основных математических счетно-решающих блоков, блоков сопряжения с реальным регулятором и блока управления.

Счетно-решающая часть модели состоит из шести идентичных, типовых секций. Каждая секция, в свою очередь, включает в себя шесть сменных блоков переменных или постоянных коэффициентов и один блок основных усилителей.

Блоками сопряжения с реальным регулятором являются блок входных усилителей и блок выходных усилителей с шестью переменными коэффициентами. Эти коэффициенты могут также подключаться на выходы модели.

Управляющая часть модели состоит из блока управления, прерывателя и генератора стабильной частоты  $f = 50$  гц.

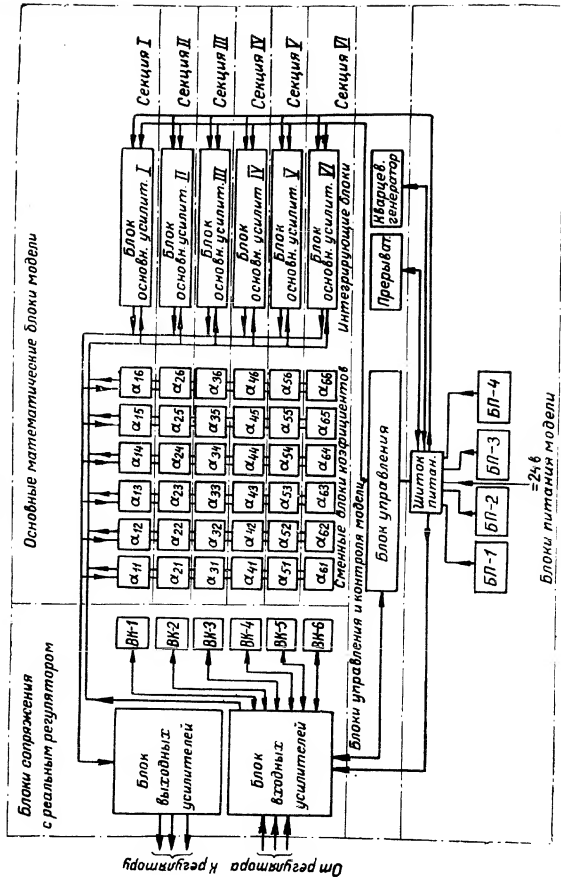
Питание модели осуществляется от 4 типовых блоков питания типа ЭСВ-1, подключаемых к щитку питания с помощью гибких шлангов, и от источника постоянного тока 24—26 в.

Конструктивно модель ИПТ-4 оформлена в виде стенда, включающего в себя следующие основные части:

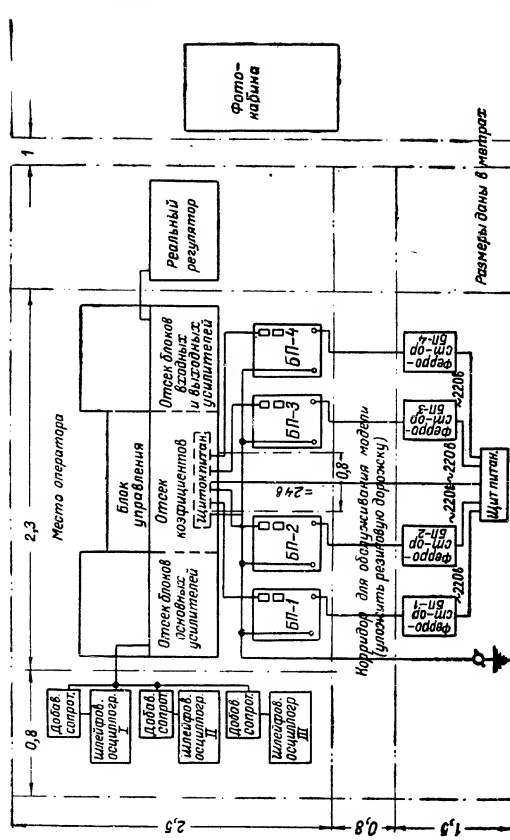
1. Отсек блоков основных усилителей.
2. Отсек блоков переменных и постоянных коэффициентов.
3. Отсек блоков сопряжения с регулятором.
4. Отсек управления и контроля.
5. Отсек питания.
6. Специальный стол.
7. Блоки питания.

Общий вид модели ИПТ-4 со стороны лицевой панели представлен на фиг. 3.3.

Отсеки блоков сопряжения с регулятором, блоков переменных и постоянных коэффициентов и блоков основных усилителей крепятся к раме стола и между собой болтами. Блоки основных усилителей, переменных и постоянных коэффициентов устанавливаются в своих отсеках в шесть этажей, образуя шесть идентичных секций. Блоки входных и выходных усилителей расположены один над другим (снизу находится блок входных усилителей). Лицевые панели всех этих блоков находятся в вертикальной плоскости.



Фиг. 3.1. Блок-схема модели ИРТ-4.



Фиг. 3.2. Расположение модели ИРТ-4 и вспомогательных приборов.

Угловое уравновешивание установлено между тумбами стола. Лицевая панель и стол уравновешены под небольшим углом к горизонтальной плоскости. Блоки питания при эксплуатации устанавливаются за моделью и соединяются с остальными питанием специальными планками. Ориентировочное расположение (до и сверху) модели ИПП-4, а также вспомогательные сведения и аппаратура, необходимые при ее эксплуатации, дано на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Модель ИПП-4. 1 — тумбы; 2 — тумбы; 3 — тумбы.

Примечание: в модели ИПП-4, как и в модели ИПП-4, блок питания дано в комплекте.

## Глава 4

### БЛОКИ МОДЕЛИ

#### § 1. БЛОК ОСНОВНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ (ИНТЕГРИРУЮЩИЙ БЛОК)

Как указывалось в § 1, гл. 2, блок основных усилителей является главным блоком модели ИПП-4. В нем над входными величинами  $\alpha_{ij}(t)U_j$  производятся операции суммирования, умножения на масштабный коэффициент, интегрирования и инвертирования. Для выполнения указанных математических операций блок основных усилителей имеет 4 операционных усилителя:  $U_1$  — суммирующий,  $U_2$  — масштабный,  $U_3$  — интегрирующий и  $U_4$  — инвертирующий. На фиг. 4.1 представлена электрическая схема блока основных усилителей (1-я секция модели — чертеж № М 004.09.000).

Рассмотрим работу отдельных звеньев блока основных усилителей в порядке последовательности выполняемых ими операций.

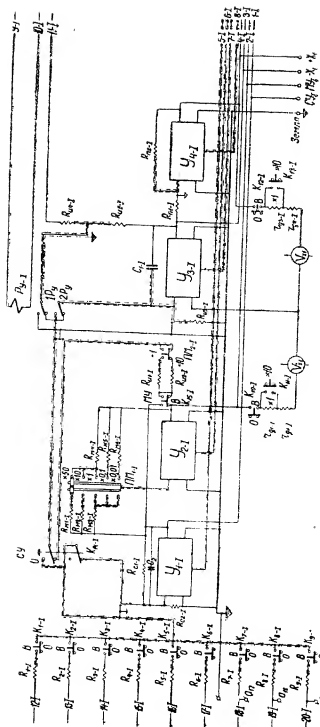
Усилитель  $U_1$  предназначен для суммирования 9 входных величин  $\alpha_{ij}(t)U_j$ , подаваемых в виде электрического напряжения постоянного тока на его входные сопротивления обратных связей  $R_{1-1} - R_{9-1}$ . Напряжение  $U_c$  на выходе усилителя  $U_1$ , пропорциональное сумме этих величин, получается равным

$$U_c = -R_{c1-1} \sum_{j=1}^9 \frac{1}{R_j} \alpha_{ij}(t) U_j.$$

В модели ИПП-4 каждая из величин  $R_{c1-1}$  (сопротивление между входом и выходом усилителя  $U_1$ ) и  $R_{1-1}$  (входные сопротивления  $R_{1-1} - R_{9-1}$ ) равна 1 мгом, а следовательно, коэффициент усиления для всех 9 входов равен —1. Напряжение на выходе усилителя  $U_1$  при этом равно:

$$U_c = - \sum_{j=1}^9 \alpha_{ij}(t) U_j.$$

В случае равенства нулю одного или нескольких членов  $\alpha_{ij}(t)U_j$  соответствующими тумблерами  $K_{1-1} - K_{9-1}$  производится отключение от входа суммирующего усилителя соответствующих входных сопротивлений.



Фиг. 4.1. Электрическая схема блока основных усилителей.

Сопротивление  $R_{c2-1}$ , включенное между входом усилителя  $U_1$  и землей, необходимо для того, чтобы усилитель не выходил из режима при отключении всех тумблеров  $K_{1-1} - K_{9-1}$ , а также при переводе переключателя  $CU$  в положение «0». Положение «0» переключателя  $CU$  ( $K_{11}$ ) предусмотрено для переключения входной шины со входа усилителя  $U_1$  (через нормально разомкнутый контакт реле  $P_y$ ) на вход усилителя  $U_3$ , который при этом выполняет одновременно операции суммирования и интегрирования. Усилители  $U_1$  и  $U_2$  этим переключением автоматически отключаются от входа интегрирующего звена и в работе схемы не участвуют. Задачей масштабного усилителя  $U_2$  является умно-

жение на заданный масштабный коэффициент  $K_m$  суммы  $\sum_{j=1}^9 a_{ij}(t) U_j$ .

Величина масштабного коэффициента  $K_m$  устанавливается переключателем ПМ, включающим определенную пару сопротивлений обратной связи  $R_{m1-1} - R_{m6-1}$ . Коэффициент  $K_m$  может быть равен 50, 10, 1, 0,1 и 0,01. Масштабный усилитель  $U_2$  может быть исключен из схемы модели переключением тумблера  $MU$  ( $K_{12}$ ) в положение «0», так как при этом напряжение с выхода суммирующего усилителя  $U_1$  прямо подается на вход интегрирующего звена.

Интегрирующий усилитель  $U_3$  имеет два режима работы. В первом режиме — режиме задания начальных условий — производится заряд конденсатора  $C_{1-1}$  включенного между входом и выходом  $U_3$ , до напряжения, соответствующего начальным условиям переменной  $U_1(t)$  на выходе данной секции. Усилитель постоянного тока в данном режиме работает как инерционное звено (напряжение на вход усилителя подается через сопротивление  $R_{n4-1}$ ; конденсатор  $C_{1-1}$  зашунтирован сопротивлением  $R_{n5-1}$ ) с постоянной времени 0,2 сек. и коэффициентом усиления  $K = -1$ . Кроме того, вход интегрирующего звена отключен от выходов суммирующего и масштабного усилителей нормально разомкнутым контактом  $2P_y$  реле  $P_y$ . При переключении контактов управляющего реле усилитель  $U_3$  переводится в режим интегрирования и его выходное напряжение становится равным

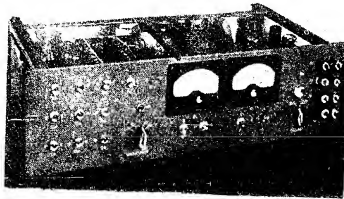
$$U_n = - \left( \frac{K_m}{T} \int_0^t \sum_{j=1}^9 a_{ij}(t) U_j \right) dt - U_{n0}.$$

Постоянная времени интегрирующего звена  $T$  может задаваться равной 1 сек. или 0,1 сек. Установка величины постоянной времени производится тумблером ПМ2, включающим в цепь обратной связи либо сопротивление  $R_{n1-1}$ , либо сопротивление  $R_{n2-1}$ . Сопротивление  $R_{n3-1}$  предусмотрено для обеспечения стабильности работы усилителя  $U_3$  при переключении контактов реле  $P_y$ .

С выхода интегрирующего усилителя напряжение  $U_n = -U_1$  подается на вход инвертирующего усилителя  $U_4$ , имеющего коэффициент усиления  $K_n = -1 (R_{n1-1} = R_{n2-1})$ , для получения напряжения

$U_n = +U_i$ . Производная переменной  $U_i(t)$ , равная  $\frac{dU_i(t)}{dt}$ , определяется напряжением на выходе масштабного звена.

Для визуального наблюдения зависимых переменных системы (1.1)  $x_i$  и их производных  $\frac{dx_i}{dt}$ , которым на модели соответствуют величины  $U_i$  и  $\frac{dU_i}{dt}$ , на выходах усилителей  $U_2$  и  $U_4$  предусмотрены стрелочные измерительные приборы  $V_{x1}$  и  $V_{x2}$ , со своими добавочными сопротивлениями:  $R_{d3-1}$ ,  $R_{d4-1}$ ,  $R_{d1-1}$  и  $R_{d2-1}$ . Включение стрелочных приборов производится тумблерами  $K_{12-1}$  и  $K_{10-1}$ . Тумблеры  $K_{13-1}$  и  $K_{14-1}$  служат для переключения пределов измерения этих приборов. Для возможности контроля и осциллографирования любого



Фиг. 4.2. Общий вид блока основных усилителей с лицевой панели

из напряжений на выходах усилителей  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $U_4$  на лицевой панели имеются клеммы:  $CU$ ,  $MU$ ,  $-x$ ,  $+x$  и клемма «земля». Клеммы  $a_{17}$ ,  $a_{18}$ ,  $a_{19}$  предназначены для подключения внешних возмущающих воздействий. Включение управляющего реле  $P_y$  и регулировка нулей усилителей производится на блоке управления. Все анодные и накальные напряжения, необходимые для питания усилителей постоянного тока, подаются через соединительные штекеры  $Ш_1$  и  $Ш_2$ . При подаче на усилители напряжения питания (для отключения которых предусмотрен переключатель зеленой лампочки. Конструктивно блок основных усилителей оформлен в виде отдельного легкоъемного блока. Электрическое соединение его со всеми остальными блоками модели осуществляется через два 14-контактных штекера и 2 клеммы: «земля» и «6,3 в».

Каркас блока — сварной из стали. Лицевая панель — двойная: внутренняя стенка — стальная, наружная — алюминиевая. На панели нанесена гравировка. На фиг. 4.2 представлена фотография блока основных усилителей со стороны лицевой панели.

С правой стороны лицевой панели расположено 8 клемм:  $CU$ ,  $MU$ ,  $+x$  и  $-x$ , а также клемма «земля» и клеммы  $a_{17}$ ,  $a_{18}$  и  $a_{19}$ . Левее клемм расположены сигнальная лампочка и переключатель  $ПВ_{1-1}$ . В центре лицевой панели помещены два прибора типа ИТ со своими тумблерами. В левой части лицевой панели находятся тумблеры  $a_{1-1}$  —  $a_{9-1}$  девяти входов блока, переключатели  $CU$  и  $MU$ , тумблер для установки постоянной времени интегрирующего звена и масштабный переключатель.

24

На дне каркаса блока установлены четыре направляющих планки со штекерными гнездами для усилителей  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $U_4$ . Между ними расположены 3 платы с сопротивлениями. В центре помещен стирофлексный конденсатор на  $1 \mu\text{кф}$  в экране (температурная защита и защита от пыли) и два прецизионных проволочных сопротивления интегрирующего звена:  $1 \text{ мгом} \pm 0,1\%$  и  $100 \text{ ком} \pm 0,1\%$ .

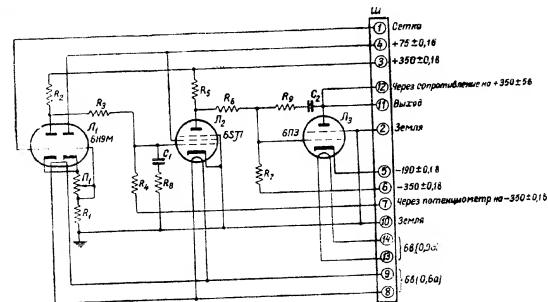
Если смотреть на блок с задней стороны, то в центре видно два 14-контактных штекера и две клеммы: «земля» и «6,3 в». Справа от штекеров расположены 4 сопротивления типа ПО-30 — анодные сопротивления усилителей  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  и  $U_4$ , отделенные от точных сопротивлений обратной связи усилителей теплоизоляционным экраном. Слева от штекеров в верхней части каркаса расположено управляющее реле  $P_y$ .

## § 2. УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА УПТ-4

### 1. Принципиальная схема прибора

В линейных электронных моделях усилители постоянного тока типа УПТ-4 с глубокой обратной связью используются в блоках основных, входных и выходных усилителей.

Принципиальная схема усилителя постоянного тока УПТ-4 приведена на фиг. 4.3. Этот усилитель состоит из трех каскадов усиления.



Фиг. 4.3. Принципиальная схема усилителя УПТ-4.

При сопряжении между собой отдельных каскадов усилителя применяется дополнительный источник питания — 350 в.

Первый каскад усилителя собран на двойном триоде 6Н9М с большим коэффициентом усиления. Ввиду того, что дрейф усилителя постоянного тока весьма существенно зависит от изменений анодного тока входной лампы, вызываемых изменениями эмиссии ее катода (главным

25

образом, из-за изменения напряжения накала), первый каскад выполнен по балансной схеме. Применение балансной схемы компенсирует изменения анодного тока при отклонениях напряжения накала. При этом усиление первого каскада будет иметь наибольшую стабильность, когда сопротивление  $R_1$  в цепи катода лампы 6Н9М равно  $1/S$ , где  $S$  — крутизна лампы 6Н9М. Для выполнения этого условия в схеме предусмотрен потенциометр  $P_1$ . С его помощью изменяется смещение на сетке правого триода входной лампы. Регулировка потенциометра  $P_1$  производится при настройке схемы или же при смене входной лампы 6Н9М. Лампы типа 6Н9М перед установкой в усилитель должны пройти предварительное старение в течение 100 часов и подвергнуться отбраковке.

Второй каскад усилителя собран на пентоде 6СJ7 с большим коэффициентом усиления. Регулировкой сеточного смещения в этом каскаде обеспечивают установку выходного напряжения усилителя на нуль. Эта регулировка осуществляется двумя соосными потенциометрами, вынесенными из усилителя. Один потенциометр служит для грубой установки нуля, другой — для точной установки.

Третий каскад усилителя собран на мощном лучевом тетроде 6ПЗ. Катод лампы 6ПЗ имеет потенциал  $-190$  в, что необходимо для обеспечения нулевого потенциала на аноде этой лампы при отсутствии напряжения на входе усилителя. Сопротивление анодной нагрузки выходной лампы усилителя вынесено из него.

Вследствие значительного дрейфа напряжения на выходе, усилитель без обратных связей использовать быть не может. Для подавления генерации, которая возникает в усилителе при включении обратных связей, в нем установлены RC-фильтры:  $C_1, R_3$ , и  $C_2, R_5$ , данные которых приведены в спецификации к схеме.

Усилитель типа УПТ-4 в режиме активных обратных связей позволяет с большой точностью устанавливать коэффициент усиления в диапазоне от 0,01 до 50 (коэффициент усиления усилителя без обратных связей достигает порядка 40 000).

Дрейф выходного напряжения усилителя, приведенный к его входу, зависит, в частности, от качества входной лампы и равен  $1-2$  мВ за 10 мин. при питании усилителя от высокостабилизированных источников питания типа ЭСВ-1. Дрейф напряжения на выходе усилителя определяется формулой

$$E = \Delta e (1 + K),$$

где:  $E$  — дрейф напряжения на выходе усилителя,

$\Delta e$  — дрейф напряжения, приведенный ко входу усилителя,

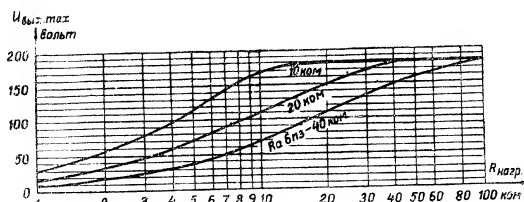
$K$  — коэффициент усиления усилителя, работающего в режиме обратных связей.

Практически дрейф напряжения на выходе усилителя при  $K = 50$  за 10 мин. не превышает  $\pm 75$  мВ и при  $RC = 1$  сек. за 100 сек. не превышает  $\pm 100$  мВ.

При выбранных данных фильтра в схеме усилителя он имеет горизонтальный участок частотной характеристики с отклонением не более 1% в диапазоне от 0 до 100 Гц.

Сдвиг фазы напряжения на выходе усилителя относительно напряжения на его входе не превышает  $1^\circ$  при частоте 37 Гц и практически не зависит от коэффициента усиления.

Допускаемая линейная раскатка выходного напряжения (при клир-факторе менее 0,1%) для заданной нагрузки зависит от анодного сопротивления выходной лампы усилителя. Характер данной зависимости приведен на фиг. 4.4. Например, при внешней нагрузке 12 ком и анодной

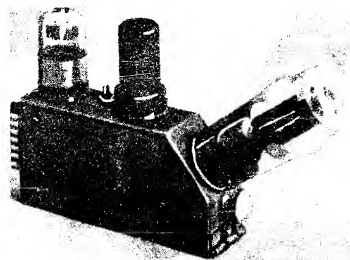


Фиг. 4.4. Характеристики усилителя УПТ-4  $U_{\text{вых max}} = f(R_n, R_a)$

нагрузке выходной лампы 20 ком усилитель обеспечивает линейность выходного напряжения в диапазоне около  $\pm 130$  в.

## 2. Конструктивное оформление прибора

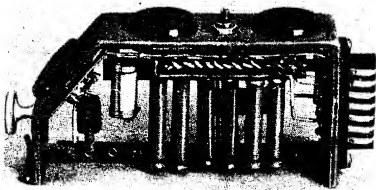
Внешний вид усилителя УПТ-4 показан на фиг. 4.5. Вид на усилитель со снятым кожухом показан на фигуре 4.6. Как видно по приведенным фотоснимкам, все сопротивления и конденсаторы схемы установлены внутри стального шасси. Монтаж и элементы схемы (сопротивления, конденсаторы) закрываются снаружи стальным кожухом, который крепится к шасси двумя винтами.



Фиг. 4.5. Общий вид усилителя УПТ-4

Для соединения с внешней схемой и источником питания в передней части шасси усилителя расположена 14-контактная штеккерная вилка.

В целях лучшего охлаждения и получения минимальных габаритов выходная лампа усилителя (6П3) расположена в задней части шасси. Габариты усилителя:  $230 \times 40 \times 130,5$  мм.



Фиг. 4.6. Вид УПТ-4 со снятым кожухом

### § 3. СМЕННЫЙ БЛОК ПЕРЕМЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА (СБ-1)

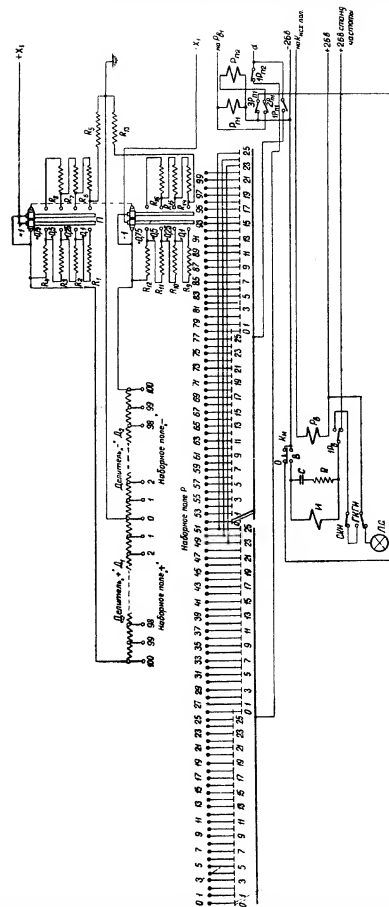
#### 1. Назначение и схема блока

В модели ИПТ-4 сменные блоки типа СБ-1 для переменных коэффициентов применяются при умножении зависимых переменных  $U_i(t)$  интегрируемой системы на переменные во времени коэффициенты  $\alpha_{ij}(t)$ . Принципиальная схема такого блока приведена на фиг. 4.7.

В основу работы блока СБ-1 положена ступенчатая аппроксимация графика переменного коэффициента. Основными элементами блока, осуществляющими воспроизведение набираемого графика переменного коэффициента во времени, являются шаговый переключатель типа искателя ШИ 50/4 с головной контактной группой и два стоксекционных делителя напряжения  $D_1$  и  $D_2$ . Искатель производит шаговую развертку во времени — разбиение графика коэффициента по времени на 100 частей. Зависимые переменные  $U_i(t)$  поступают через выводы 1, 2 и 3 штеккера на стоксекционные делители  $D_1$  и  $D_2$ . С помощью этих делителей производится набор величины коэффициента через  $\pm 0,01$  в диапазоне от 0 до  $\pm 1$ . Этот набор осуществляется путем соединения ламелей шагового переключателя с выводами делителей  $D_1$  и  $D_2$ . Для удобства обслуживания и набора коэффициента все выводы делителя  $D_1$  выведены на наборное поле «+», делителя  $D_2$  — на наборное поле «-» и ламели искателя — на поле «Р» (развертка).

В сменном блоке переменного коэффициента предусмотрена возможность изменения масштаба набранной кривой переменного коэффициента при помощи переключателя, обозначенного на схеме П. В сменном блоке СБ-1 масштаб коэффициента  $K_{aj}$  может быть равным 1, 0,75, 0,5, 0,25 и 0,1, причем посредством включения сопротивлений  $R_1 - R_5$  выдержано условие постоянства входного сопротивления блока при любом из указанных значений этого коэффициента.

Как уже было отмечено, развертка коэффициента  $\alpha_{ij}(t)$  во времени осуществляется искателем блока СБ-1, импульсы на электромагнит ко-



Фиг. 4.7. Принципиальная схема сменного блока переменного коэффициента типа СБ-1.



того поступают от генератора импульсов модели ИПТ-4 с частотой 10, 4, 2, 4/3, 1 и 2/3 гц. Начало и окончание посылки импульсов регулируется схемой пульта управления модели ИПТ-4. В целях увеличения числа интервалов  $T_0$  развертки коэффициента до 100 в блоке СБ-1 установлены реле  $P_{n1}$  и  $P_{n2}$ , осуществляющие переключение выходной цепи блока с одного поля ламелей искателя (52-ламельное) и другое. Управляющий импульс на реле  $P_{n1}$  поступает из блока управления модели ИПТ-4 на 49-м шаге в момент времени, когда щетки искателя сменного блока переменного коэффициента находятся на ламелях № 23 5-го и 6-го рядов (см. схему на фиг. 4.7).

Перед началом работы искатель блока СБ-1 находится в исходном положении (щетки искателя стоят на нулевых ламелях). Об установке искателя в этом положении сигнализирует (горением) лампочка  $L_c$ , цепь которой при этом замыкается нормально замкнутым контактом головной контактной группы искателя (ГКГН).

Для быстрого возвращения схемы блока в исходное положение в ней предусмотрена возможность вывода искателя на нулевую ламель через самоходный контакт.

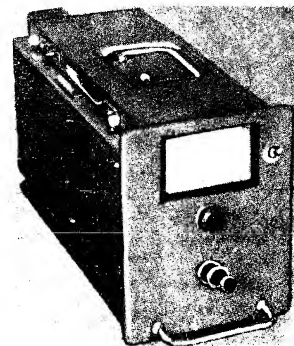
Включение искателя на самоход осуществляется от реле  $P_v$  (установленного в блоке СБ-1), управление которым производится с помощью кнопки «Исх. пол.» на блоке управления. В схеме блока предусмотрен тумблер  $K_n$ , с помощью которого можно остановить искатель блока на любой ламели, т. е. превратить при этом переменный коэффициент в постоянный.

## 2. Конструкция блока

Внешний вид сменного блока типа СБ-1 для переменного коэффициента показан на фиг. 4.8. Вид на блок со снятой крышкой дан на фиг. 4.9

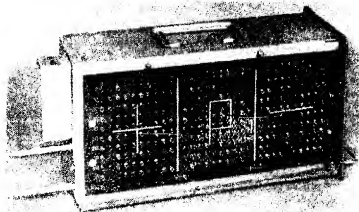
и 4.10. Все элементы блока смонтированы на стальном шасси. На лицевой панели шасси установлены: переключатель масштаба коэффициента  $K_{aj}$ , лампочка сигнализации и тумблер остановки блока. Для обозначения графика переменного коэффициента на сменном блоке предусмотрен особый кармашек, который также расположен на лицевой панели блока.

Монтаж и все элементы схемы закрыты стальным кожухом, который крепится к шасси невыпадающим винтом, расположенным на задней стенке кожуха блока. Для удобства эксплуатации при наборе графика переменного коэффициента (при подготовке к



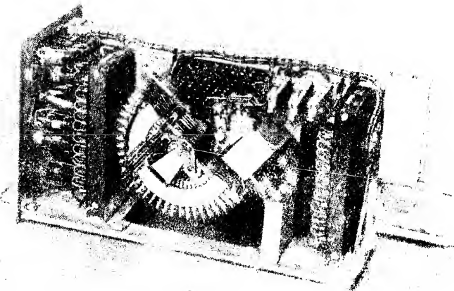
Фиг. 4.8. Общий вид блока СБ-1

решению какой-либо задачи на модели ИПТ-4) крышка, прикрывающая наборное поле (фиг. 4.9), выполнена легкосъемной. Эта крышка крепится к кожуху посредством двух пружинных замков.



Фиг. 4.9. Вид на блок СБ-1 со стороны наборного поля (крышка наборного поля снята)

Для соединения сменного блока со схемой модели в задней верхней части его шасси расположена 14-контактная штеккерная вилка. Габариты блока:  $140 \times 170 \times 413$  мм.

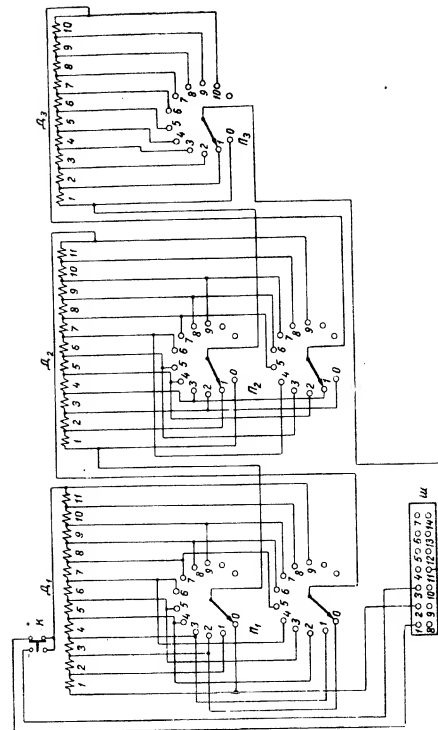


Фиг. 4.10. Вид на монтаж блока СБ-1

#### § 4. СМЕННЫЙ БЛОК ПОСТОЯННОГО КОЭФИЦИЕНТА (СБ-2)

##### 1. Назначение и схема блока

Сменный блок СБ-2 в модели ИПТ-4 применяется для умножения зависимых переменных  $U_i(t)$  на постоянный коэффициент, величина ко-



Фиг. 4.11. Электрическая схема блока постоянного коэффициента типа СБ-2

торого набирается с точностью до 0,1% максимального значения, равного  $\pm 1$ .

Принципиальная схема данного блока приведена на фиг. 4.11. Блок постоянного коэффициента типа СБ-2 представляет собой магазин сопротивлений, составленный из делителей  $D_1, D_2$  и  $D_3$ . Делитель  $D_1$  имеет 11 секций, делитель  $D_2$  — 11 секций и делитель  $D_3$  — 10 секций.

Схема блока составлена таким образом, что каждый последующий делитель шунтирует две секции предыдущего делителя, причем сопротивление каждого последующего делителя равно сопротивлению двух секций предыдущего делителя. При таком соединении делителей выдерживается условие постоянства входного сопротивления блока СБ-2 при любом положении ручек всех его переключателей.

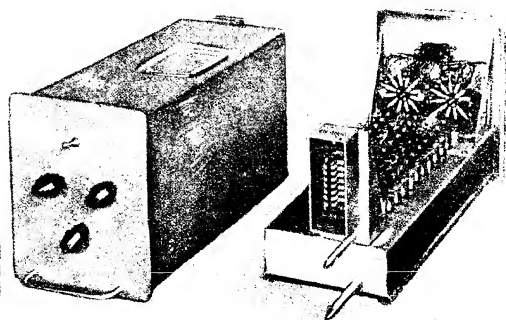
В блок постоянного коэффициента переменные  $U_i(t)$  поступают на делитель  $D_1$ . Для выбора знака переменной интегрирования в блоке СБ-2 предусмотрен тумблер  $K$ .

Блок постоянного коэффициента позволяет устанавливать коэффициент с точностью до 0,1% величины от  $\pm 1$  до 0 через 0,001.

## 2. Конструкция блока

Внешний вид сменного блока постоянного коэффициента типа СБ-2 представлен на фиг. 4.12.

Все элементы блока смонтированы на стальном шасси. На лицевой панели шасси установлены три переключателя установки масштаба и



Фиг. 4.12. Общий вид сменного блока постоянного коэффициента СБ-2

тумблер выбора знака устанавливаемого коэффициента. Справа на фиг. 4.12 дан вид на внутренний монтаж прибора при снятом кожухе.

Все детали схемы и монтаж закрыты стальным кожухом, который крепится к шасси одним невыпадающим винтом, расположенным в задней части блока. Для соединения блока с внешней схемой модели служит 14-контактная штеккерная вилка, расположенная сзади, в верхней части шасси.

## § 5. БЛОКИ СОПРЯЖЕНИЯ С РЕАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

Блоками сопряжения модели ИПТ-4 с реальным регулятором являются блок входных усилителей, блок выходных усилителей и шесть переменных коэффициентов.

### 1. Блок входных усилителей

Блок входных усилителей предназначен для умножения на постоянный масштабный коэффициент выходных величин реального регулятора и их инвертирования. Соответственно числу входов входной блок состоит из трех одинаковых секций, причем на каждом входе можно производить суммирование 2 величин. Каждая секция блока построена на 2 операционных усилителях постоянного тока типа УПТ-4. Первые усилители каждой секции ( $U_{1-vn} - U_{1-ix}$ ) служат для суммирования входных величин и умножения их на необходимый постоянный коэффициент. Вторые усилители ( $U_{2-vn} - U_{2-ix}$ ) являются инвертерными. На фиг. 4.13 приведена принципиальная электрическая схема блока входных усилителей.

Оба входа операционных усилителей  $U_{1-vn} - U_{1-ix}$  выведены через контакты тумблеров  $K_{1-vn} - K_{1-ix}$  на клеммы «Вход I», «Вход II», «Вход III», причем на каждом входе имеется по две клеммы с маркировкой I и 2. Тумблеры  $K_{1-vn} - K_{1-ix}$  служат для соединения входов усилителей либо с входными клеммами, либо с «землей».

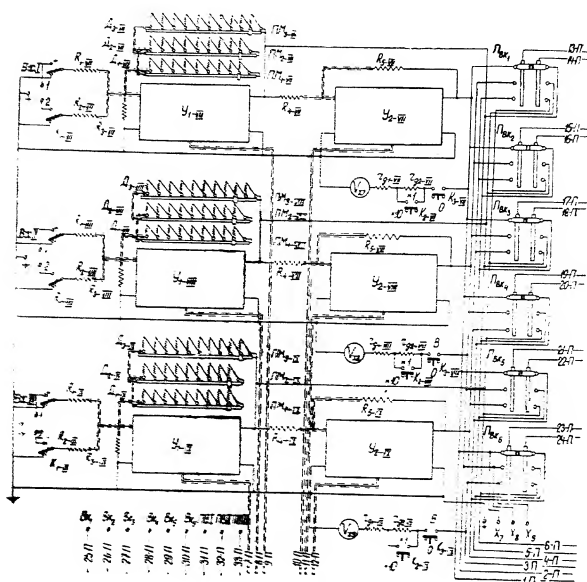
С помощью переключателей  $PM_{1-vn} - PM_{1-ix}$ ;  $PM_{2-vn} - PM_{2-ix}$ ;  $PM_{3-vn} - PM_{3-ix}$  изменяются сопротивления обратных связей между входом и выходом усилителей постоянного тока. Эти сопротивления состоят из трех декад: первая декада ( $D_{1-vn} - D_{1-ix}$ ) включает в себя 9 сопротивлений, вторая ( $D_{2-vn} - D_{2-ix}$ ) — 9 сопротивлений и третья ( $D_{3-vn} - D_{3-ix}$ ) — 10 сопротивлений. Этими переключателями коэффициент усиления входных усилителей модели изменяется от 0 до 10 через 0,01.

Входы усилителей шунтированы на землю сопротивлениями  $R_{3-vn} - R_{3-ix}$ , для того чтобы во время переключения тумблеров  $K_{1-vn} - K_{1-ix}$  сетки усилителей не оказывались бы отключенными, что может вывести усилители из рабочего режима.

Выходные напряжения  $-U_1, -U_2, -U_3$  усилителей  $U_{1-vn} - U_{1-ix}$  подаются на входы инвертерных усилителей  $U_{2-vn} - U_{2-ix}$ , имеющих коэффициент усиления, равный  $-1$ . Напряжение на выходе инвертерных усилителей при этом равно  $+U_1, +U_2, +U_3$ .

Для визуального наблюдения переменных  $x_1, x_2, x_3$ , которым на модели соответствуют величины  $U_1, U_2, U_3$  на выходе инвертерных усилителей включены приборы  $V_{27}, V_{28}, V_{29}$  с добавочными сопротивлениями  $r_{21-vn} - r_{21-ix}$  и  $r_{22-vn} - r_{22-ix}$ . Тумблерами  $K_{2-vn} - K_{2-ix}$

прибор можно переключить со шкалы 100 в на шкалу 10 в и обратно. Тумблеры  $K_3-vii - K_3-ix$  служат для выключения стрелочных приборов. Выходы всех усилителей блока подаются на каждый из переключателей  $P_{вк1} - P_{вк6}$ . С движков этих переключателей выходные величины  $x_1, x_2$  или  $x_3$  со знаками «+» или «-» подаются на сменные блоки



Фиг. 4.13. Электрическая схема блока входных усилителей

входных переменных коэффициентов  $BA_1 - BA_4$ . Выходные величины блоков переменных коэффициентов (типа СБ-1) поступают на клеммы  $BA_1 - BA_4$ .

Кроме того, на лицевой панели блока имеется 18 клемм ( $a_1, a_2, a_3 - a_8, a_9, a_{10}$ ), являющихся входами суммирующих звеньев блоков основных усилителей (на каждый блок основных усилителей

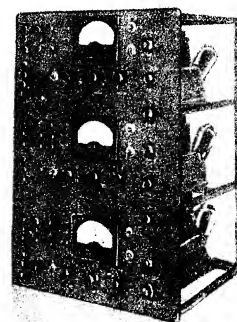
34

приходится по 3 входа), три клеммы ( $ПВ-1, ПВ-2, ПВ-3$ ) для подключения постоянных внешних возмущений и три клеммы величин  $x_1, x_2$  и  $x_3$  для присоединения шлейфов при необходимости записи этих величин.

Внешней коммутацией между соответствующими клеммами выходное напряжение любого из блоков входных переменных коэффициентов и любое возмущение могут быть поданы на один из блоков основных усилителей. Для контроля напряжения выхода и регулировка нулей усилителей блока выведены на блок управления модели.

Конструктивно блок входных усилителей выполнен в виде отдельного легкоосъемного узла. Блок вдвигается по направляющим в каркас и крепится к нему со стороны лицевой панели четырьмя винтами. Электрическое соединение блока со схемой модели осуществляется при помощи штеккеров.

Общий вид входного блока со стороны лицевой панели показан на фиг. 4.14.



Фиг. 4.14. Вид блока входных усилителей со стороны лицевой панели

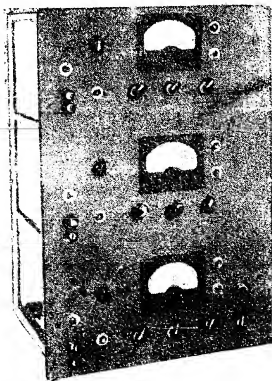
На передней панели расположены: 3 стрелочных прибора, 9 тумблеров, 15 переключателей, 41 клемма. Кроме того, на лицевой панели справа внизу, расположен переключатель, через который подается питание на усилители входного блока (на принципиальной электрической схеме переключатель не обозначен). Переключатель имеет 2 позиции «Вкл.» и «Откл.». О включенном питании сигнализирует лампочка, расположенная над переключателем. В качестве сопротивлений  $R_1-vii - R_{1-ix}$ ,  $R_2-vii - R_{2-ix}$ ,  $R_3-vii - R_{3-ix}$ ,  $R_4-vii - R_{4-ix}$ ,  $R_5-vii - R_{5-ix}$  и сопротивлений декад  $D_1-vii - D_{1-ix}$ ,  $D_2-vii - D_{2-ix}$ ,  $D_3-vii - D_{3-ix}$  используются непровольные сопротивления, величины которых подогнаны к номиналу с точностью  $\pm 0,1\%$ . Эти сопротивления сгруппированы на текстолитовых платах (по 11 сопротивлений на плате). На каждой входной секции три платы объединены конструктивно в один магазин сопротивлений. Для удобства монтажа выводы сопротивлений припаяны к лепесткам переходных гребенков. Секции блока расположены одна над другой. Усилители УПТ-4 — легкоосъемные, вдвигаются с задней стороны и расположены с боков от магазинов сопротивлений.

Отдельно от усилителей устанавливаются анодные сопротивления  $R_{a1-vii} - R_{a1-ix}$  и  $R_{a2-vii} - R_{a2-ix}$  типа ПО-30, которые экранируются (тепловым экраном) от основного монтажа. На задней стороне каркаса блока входных усилителей для соединения с монтажом общей схемы модели расположены три штеккерных 20-контактных вилки и две клеммы: одна клемма земляная, вторая служит для подачи напряжения накала 6,3 в.

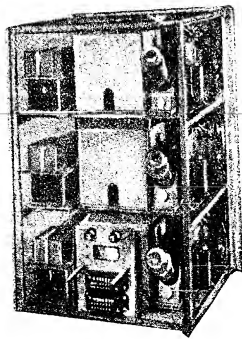
35



ний  $R_{1-x} - R_{1-xII}$ ,  $R_{2-x} - R_{2-xII}$  и делителей  $D_{1-x} - D_{1-xII}$ ,  $D_{2-x} - D_{2-xII}$ ,  $D_{3-x} - D_{3-xII}$  используются непроводочные сопротивления, величины которых подогнаны к номиналу с точностью  $\pm 0,1\%$ . Эти сопротивления с подгоночными катушками сгруппированы на текстолитовых



Фиг. 4.16. Общий вид блока выходных усилителей



Фиг. 4.17. Вид блока входных усилителей со стороны монтажа

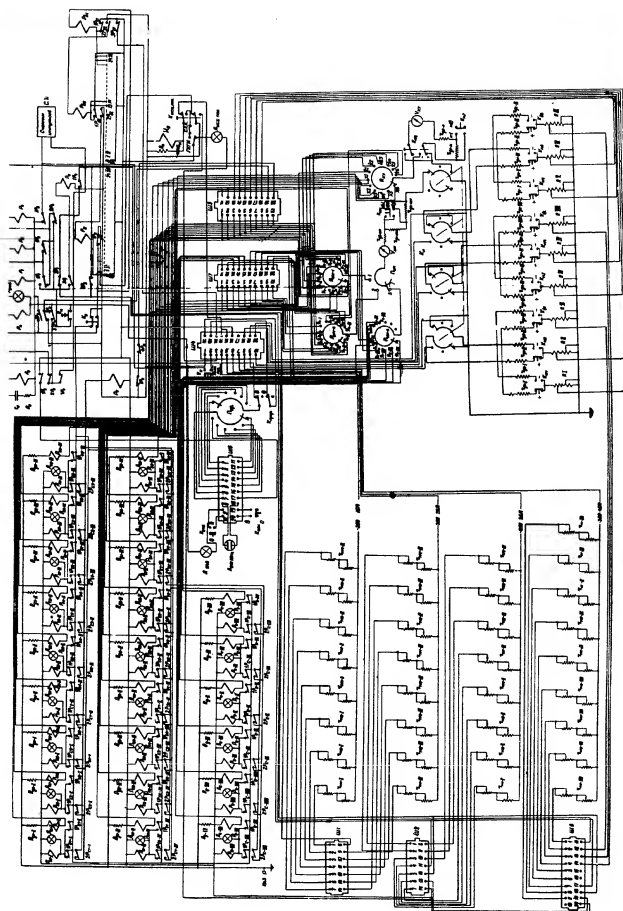
платах по 11 сопротивлений. На каждой секции находятся три платы, которые конструктивно объединены в один магазин. Фильтр на выходе усилителей  $У_x - У_{xII}$  конструктивно выполнен также в виде отдельного блокочка (съемного) для каждой секции. Усилители УПТ-4 — легко съемные, вдвигаются с задней стороны блока. Отдельно от усилителей устанавливаются анодные сопротивления  $R_{a-x} - R_{a-xII}$  типа ПО-30, которые отделены от основного монтажа тепловым экраном. На задней стороне каркаса блока выходных усилителей расположены 2 клеммы: земляная и клемма 6,3 в, служащая для подачи питания накала на первые две лампы усилителей УПТ-4. Вид на блок выходных усилителей со стороны монтажа представлен на фиг. 4.17.

#### § 6. БЛОК УПРАВЛЕНИЯ

Блок управления служит для настройки, контроля и управления работой основных блоков модели ИПТ-4.

На фиг. 4.18 приведена полная принципиальная электрическая схема блока управления. Схема блока состоит из следующих основных узлов:

1. Схемы регулировки и контроля нулей усилителей.
2. Схемы задания начальных условий и постоянных возмущений.



Фиг. 4.18. Электрическая схема блока управления моделью ИПТ-4

3. Схемы защиты и сигнализации.
4. Схемы управления работой модели.

#### 1. Схема регулировки и контроля нулей усилителей

В блоке управления производится установка нулей всех 33 усилителей постоянного тока модели ИПТ-4.

Регулировка нулей производится с помощью соосных потенциометров, обозначенных на схеме  $r_{u1-1} - r_{u4-1} \dots r_{u1-v1} - r_{u4-v1}$ ,  $r_{u1-v1} - r_{u2-ix}$ ,  $r_{u-x} - r_{u-x-11}$ .

Напряжение — 350 в на соосные потенциометры подается от тех же блоков питания, от которых производится питание соответствующих усилителей. Для контроля установки нуля усилителей служит прибор  $V_{ин}$  класса I с добавочными сопротивлениями  $r_{д1ин} - r_{д3ин}$  на три предела измерения.

Для переключения прибора на различные пределы измерения служит тумблер  $K_{ин}$ . Контроль нулей усилителей постоянного тока производится при подожении переключателя  $K_{ин}$  в позиции «Пров. нуля». При этом выходы всех усилителей переключателями ПИН, ПИН-1, ПИН-2, ПИН-3 последовательно подключаются к прибору  $V_{ин}$ , и с помощью ручек соосных потенциометров грубой и точной регулировки производится установка нулей усилителей сначала по шкале 2,5 в, а затем на шкале 100 мв.

#### 2. Схема задания начальных условий и постоянных возмущений

Схема задания начальных условий имеет шесть соосных потенциометров  $R_1 - R_{vi}$  соответственно числу блоков основных усилителей.

Питание на соосные потенциометры подается через переключатель  $K_{н}$  (позиция «нач. условия») и добавочные сопротивления  $r_{д1-1} - r_{д1-v1}$  или  $r_{д2-1} - r_{д2-v1}$ . С помощью тумблеров  $K_{н-1} - K_{н-6}$  подключается питание + 350 в или — 190 в одного из трех блоков питания.

Величины добавочных сопротивлений  $r_{д1-1} - r_{д1-v1}$  и  $r_{д2-1} - r_{д2-v1}$  выбраны таким образом, чтобы соосными потенциометрами можно было задать начальные условия в пределах  $\pm 105$  в. В режиме задания начальных условий для интегрирующих усилителей блоков основных усилителей модели движки потенциометров  $R_1 - R_{vii}$  соединяются с входными сопротивлениями  $R_{u1-1} - R_{u4-v1}$  в блоке основных усилителей.

Схема задания постоянных возмущений аналогична схеме задания начальных условий. Для задания постоянных возмущений используются три таких же соосных потенциометра ( $R_{v1} - R_{ix}$ ), движки которых соединяются с клеммами ( $П_{21} - П_{2ix}$ ) в блоке входных усилителей. Напряжение + 350 в или — 190 в (в зависимости от положения тумблеров  $K_{н1} - K_{н3}$ ), через добавочные сопротивления  $r_{д1-1} - r_{д1-ix}$  или  $r_{д2-1} - r_{д2-ix}$  подается на соосные потенциометры. Добавочные сопротивления выбираются таким образом, чтобы потенциометры позволяли задавать постоянные возмущения в пределах  $\pm 110$  в.

Контроль задания начальных условий и постоянных возмущений производится прибором  $V_{нв}$  класса I с добавочными сопротивлениями. Прибор рассчитан на два предела измерения, которые устанавливаются

с помощью тумблера  $K_{\text{из}}$ . Тумблер  $K_{\text{из}}$  дает возможность измерять прибором  $V_{\text{из}}$  напряжения разных знаков. Переключателем  $\Pi_{\text{из}}$  к прибору  $V_{\text{из}}$  последовательно подключаются выходы интегрирующих усилителей блоков основных усилителей (при задании начальных условий) и выходы масштабных усилителей (при задании постоянных возмущений).

### 3. Схема защиты и сигнализации

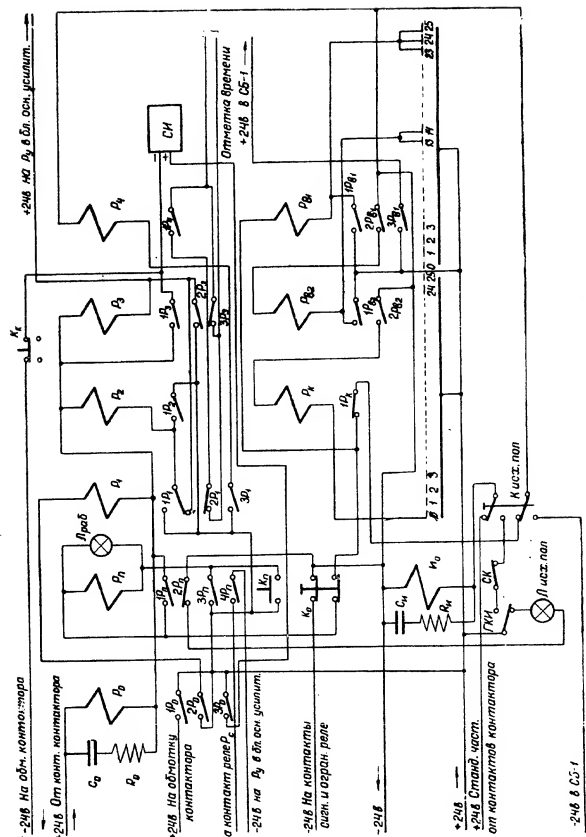
Схема защиты включает в себя реле-ограничители  $P_{01-1} - P_{0-n}$  типа РМ с добавочными сопротивлениями и нагрузочными пружинками. Эти реле включены на выходах суммирующих, масштабных и интегрирующих усилителей постоянного тока блоков основных усилителей, на выходах суммирующих усилителей блока входных усилителей и на выходах усилителей блока выходных усилителей. Общее количество этих реле в модели — 24 шт. Реле-ограничитель срабатывает в том случае, если выходное напряжение усилителя переходит за допустимые пределы  $\pm 105$  в, при этом включается цепь сигнального реле  $P_{01-1} - P_{0-n}$ . Сигнальное реле, в свою очередь, самоблокируясь своими контактами, включает красную сигнальную лампочку ( $L_{01-1} - L_{0-n}$ ) и общее сигнальное реле  $P_c$ , контакт которого размыкает цепь управляющих реле в блоках основных усилителей. Работа схемы модели при этом прекращается.

### 4. Схема управления работой модели

Схема управления работой модели ИПТ-4 представлена на фиг. 4.19. Схема выполняет следующие функции: пуск модели, управление работой сменных блоков переменных коэффициентов, остановка схемы, получение отметки времени, счет импульсов, возврат схемы в исходное положение. Последовательность работы элементов схемы наглядно показывает временной график ее работы (см. фиг. 4.20).

Схема пуска построена таким образом, чтобы точно синхронизировать начало работы модели и маркировку времени с импульсами, вырабатываемыми генератором импульсов. Начало процесса интегрирования в схеме модели должно точно соответствовать началу паузы между импульсами генератора, что соответствует началу интервала  $T_0$  (см. фиг. 4.20).

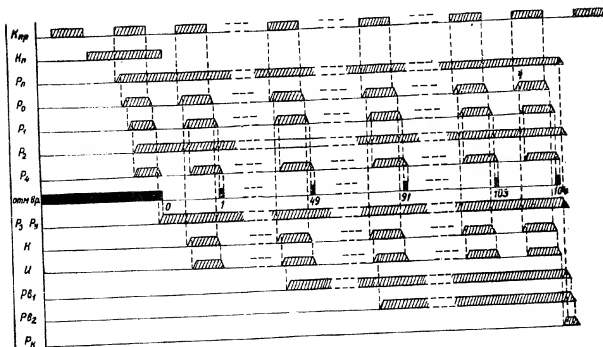
Пуск схемы производится в следующей последовательности: тумблером  $K_{\text{ген}}$  включается в работу кварцевый генератор, тумблером  $K_{24в}$  подается напряжение постоянного тока 24 в, тумблером  $K_{\text{пер}}$  включается в работу генератор импульсов (прерыватель) и в блок управления поступают импульсы необходимой частоты, заданной переключателем  $\Pi_{\text{пр}}$  (см. фиг. 4.18) на пульт управления. Затем нажимается кнопка  $K_{\text{п}}$  («Раб.»). При этом срабатывает и блокируется через собственный контакт  $3P_{\text{п}}$  пусковое реле  $P_{\text{п}}$  и загорается белая сигнальная лампочка  $L_{\text{раб.}}$ . Другой контакт  $1P_{\text{п}}$  включает в работу реле  $P_0$  и подготавливает цепь для срабатывания реле  $P_1$ . Реле  $P_0$  повторяет импульсы прерывателя. Через его контакт  $2P_0$  питается реле  $P_1$ , которое повторяет работу реле  $P_0$ . Через контакт  $1P_0$  на контактор подается +24 в. Во время



Фиг. 4.19. Принципиальная схема управления работой модели



импульса срабатывает реле  $P_1$  и контактом  $1P_1$  включает в работу реле  $P_2$ , которое своим контактом  $1P_2$  блокируется на весь период работы. Через контакт  $3P_1$  возбуждается реле  $P_3$ , которое в дальнейшем повторяет работу реле  $P_1$ . В начале следующей паузы, когда реле  $P_1$  отпустит свой якорь, реле  $P_2$  срабатывает и блокируется через свой контакт  $2P_2$ . Одновременно в начале паузы срабатывают все управляющие реле  $P$



Фиг. 4.20. Временной график работы схемы управления

в блоках основных усилителей. При интегрировании систем линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами тумблер  $K_1$  ставится в позицию «Пер», и — 24 в через контакт  $1P_1$  подается на контактор, который со следующего импульса вступает в работу и через свой контакт подает импульсы на все искатели схемы модели (этим, в частности, обеспечивается синхронность их работы). В случае решения задач с постоянными коэффициентами тумблер  $K_1$  ставится в позицию «Пост.» и тем самым отключает питание от контактора. Для переключения выходной цепи с одного поля ламелей искателя на другое в сменных блоках переменного коэффициента (СБ-1) установлены переключающие реле  $P_{n1}$  и  $P_{n2}$ . Управление работой этих переключающих реле производится с помощью искателя  $I_0$ , установленного в блоке управления. На 49-м шаге искателя срабатывает реле  $P_{n1}$  (типа РМ), которое контактом  $1P_{n1}$  самоблокируется, а контактом  $2P_{n1}$  подготавливает к работе реле  $P_{n2}$ . Одновременно через контакт  $3P_{n1}$  подается импульс на переключающие реле  $P_{n1}$  и  $P_{n2}$  в сменных блоках, которые, таким образом, на 49-м шаге искателей переключают выходные цепи этих блоков с одного поля ламелей на другое.

На 91-м шаге искателя  $I_0$  в блоке управления реле  $P_{n2}$  срабатывает, блокируется контактом  $1P_{n2}$  и подготавливает к работе цепь оконч-

ного реле  $P_k$ . В положении щеток искателя на нулевой ламели срабатывает реле  $P_k$  и разрывает цепь — 24 в, после чего одновременно отпускают якорь реле  $P_{n1}$ ,  $P_{n2}$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ,  $P_{n1}$ , прекращают работу контактор и искатели, а затем отпускает якорь реле  $P_{n2}$  и, наконец, реле  $P_k$ . При этом схема возвращается в исходное положение, о чем сигнализирует зеленая лампочка  $L_{исх\ пол}$ , включенная через контакт головной контактной группы искателя (ГКИ) и нормально замкнутый контакт пускового реле  $2P_{n1}$ . Такое включение лампочки  $L_{исх\ пол}$  исключает подсвечивание ее в моменты нахождения движков искателя на нулевой ламели во время рабочего цикла. Для возврата сменных блоков СБ-1 в исходное положение в любой момент времени нажимается кнопка исходного положения  $K_{исх\ пол}$ . При этом напряжение +24 в подается на искатель  $I_0$  через самоходный контакт  $СК$  и на вспомогательные реле  $P_{n1}$  в сменных блоках СБ-1. На нулевой ламели напряжение +24 в отключается головной контактной группой ГКИ. Искатель останавливается в исходном положении и загорается зеленая лампочка  $L_{исх\ пол}$ .

Для получения отметки времени в блоке предусмотрена цепь, состоящая из последовательно включенных нормально замкнутого контакта  $2P_1$  реле  $P_1$  и нормально разомкнутого контакта  $1P_1$  реле  $P_1$ . В начале паузы, в момент, когда реле  $P_1$  уже отпустило якорь, а реле  $P_1$  еще удерживает свой якорь, эта цепь на короткое время замыкается. Первая (нулевая) отметка времени, появляющаяся в момент замыкания нормально замкнутого контакта реле  $P_1$ , точно соответствует началу процесса интегрирования. Затем отметка времени повторяется с заданной частотой импульсов прерывателя.

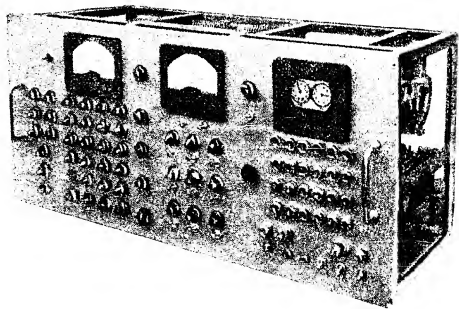
Схема позволяет вести счет этим импульсам, для чего служит типовая счетчик импульсов  $СИ$ . Подача импульсов на него осуществляется при каждом срабатывании реле  $P_0$ . Перед пуском шкала счетчика импульсов должна быть установлена в исходное положение.

В схеме имеется 2 искрогасительных контура:  $R_0$ ,  $C_0$  — в цепи реле  $P_0$  и  $R_k$ ,  $C_k$  — в цепи искателя  $I_0$ . В качестве сопротивлений  $R_0$ ,  $R_k$  использованы сопротивления ПО-10, а в качестве емкостей  $C_0$ ,  $C_k$  — конденсаторы типа КБГТ.

Конструктивно блок управления выполнен в виде отдельного легкосъемного узла, лицевая панель которого расположена под небольшим углом к горизонтальной плоскости. Общий вид блока управления со стороны лицевой панели показан на фиг. 4.21, а со стороны монтажа — на фиг. 4.22.

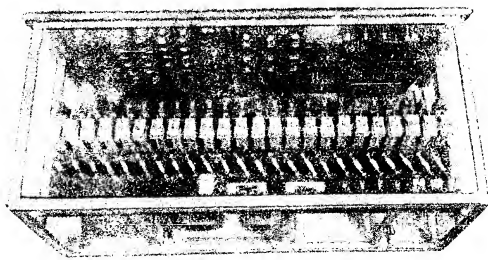
Приборы на лицевой панели расположены следующим образом. Слева сгруппированы детали, относящиеся к схеме регулировки и контроля нулей усилителей УИТ-4: 33 соосных потенциометра, 4 переключателя, 1 стрелочный прибор и 1 тумблер. В середине панели расположены детали, относящиеся к схеме задания начальных условий и постоянных возмущений: 9 соосных потенциометров, 11 тумблеров и 1 стрелочный прибор. Кроме того, в середине панели расположен 1 переключатель на две позиции: «Пров. нуля» и «Нач. условия». Справа расположены детали, относящиеся к схеме сигнализации и управления: 26 сигнальных лампочек, 1 неоновая лампочка, 4 тумблера, три кнопки, счетчик импульсов и два переключателя. Внутри блока размещены на специальной плате все реле. На якорях этих реле надписаны их обозначения, принятые на принципиальной схеме.

На двух текстолитовых платах сгруппированы сопротивления  $r_{д1-1} - r_{д1-1X}$ ,  $r_{д2-1} - r_{д2-1X}$ . В качестве сопротивлений  $r_{д1-1} - r_{д1-1X}$  используются непроволочные сопротивления с добавочной катушкой.



Фиг. 4.21. Вид блока управления со стороны лицевой панели.

В качестве сопротивлений  $r_{д2-1} - r_{д2-1X}$  используются также непроволочные сопротивления.



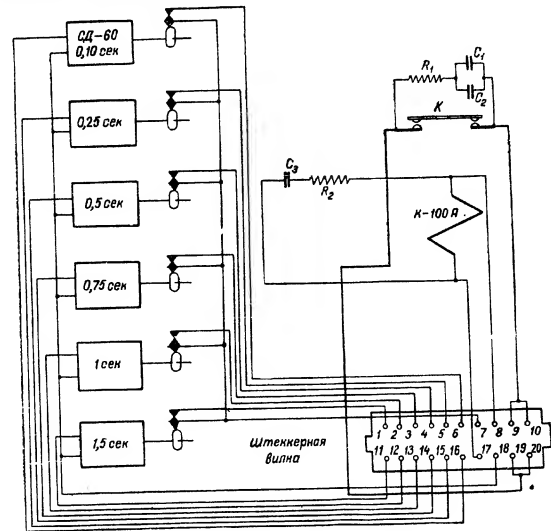
Фиг. 4.22. Вид блока управления со стороны монтажа.

Электрическое соединение блока с монтажом всей модели осуществляется через соединительные кабели с помощью пяти 20-контакт-

ных и двух 14-контактных штеккеров. На блоке имеется одна земляная клемма для подсоединения к общей земляной шине модели.

#### § 7. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ ТИПА СГИ-1

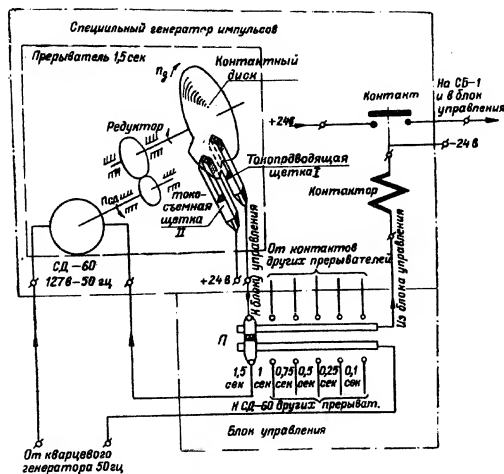
Специальный генератор импульсов типа СГИ-1 или «прерыватель» предназначен в модели ИПТ-4 для периодической коммутации с заданной частотой цепей напряжения постоянного тока 24 в в блоке управления модели и в сменных блоках переменных коэффициентов СБ-1. Частота получаемых при этом импульсов напряжения 24 в может устанавливаться равной:  $\frac{1}{3}$ , 1,  $\frac{1}{3}$ , 2, 4 и 10 гц.



Фиг. 4.23. Электрическая схема СГИ-1.

Электрическая схема генератора представлена на фиг. 4.23. Основными элементами генератора являются шесть прерывающих контактов на указанные частоты и контактор с искрогасительным контуром. Контакты прерывателя представляют собой периодически замыкающийся контакт между двумя щетками, скользящими по различным окружностям на диске с вырезами.

Принципиальная схема прерывателя дана на фиг. 4.24. Одни щетки (I) постоянно соприкасаются с диском, а другие (II) — только во время их скольжения по зубцам диска. Диск приводится во вращение от синхронного двигателя, ось которого вращается со строго постоянной скоростью 1 об/сек. Число замыканий контакта прерывателя в секунду (т. е. частота вырабатываемых им импульсов) равно числу вырезов на диске, умноженному на его скорость вращения, выраженную в числе оборотов в секунду.



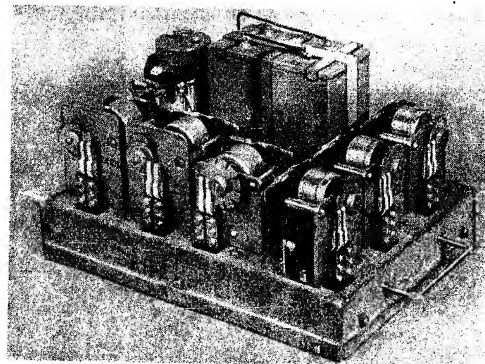
Фиг. 4.24. Принципиальная схема СГИ-1.

Четыре прерывателя на частоты 10, 4, 2 и 1 Гц имеют диски с числом вырезов 10, 4, 2 и 1 и со скоростью вращения 1 об/сек, так как укреплены они непосредственно на оси редукторов синхронных моторчиков. Два прерывателя на частоты  $\frac{1}{2}$  и  $\frac{1}{4}$  Гц имеют соответственно диски с двумя и с одним вырезами, причем вращаются они через дополнительный редуктор с передаточным отношением  $i = \frac{I_{\text{сд}}}{I_{\text{д}}} = \frac{3}{2}$ , т. е. со скоростью  $\frac{2}{3}$  об/сек.

Через соответствующий контакт прерывателя включается быстродействующий контактор, мощный контакт которого, повторяя импульсы, вырабатываемые прерывателем, периодически замыкает цепь источ-

ника +24 в, идущую в блок управления модели и в сменные блоки СБ-1. При этом максимальные токи в этой цепи по величине допустимы до 50 а (в модели ИПТ-4 эти токи значительно меньше 50 а).

Переключение частоты импульсов, вырабатываемых контактором генератора, осуществляется переключателем, имеющимся на панели блока управления модели. При этом происходит одновременное подключение обмотки контактора к напряжению +24 в через соответствующий контакт прерывателя и обмотки соответствующего мотора к кварцевому генератору.



Фиг. 4.25. Общий вид СГИ-1 со снятым кожухом.

Конструктивно генератор импульсов СГИ-1 выполнен в виде отдельного легкоъемного блока. Сопряжение его со схемой модели осуществляется с помощью штеккерного соединения (на генераторе установлена двадцатиконтактная штеккерная вилка).

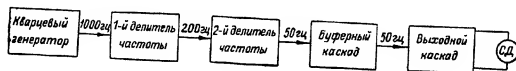
Шасси блока СГИ-1 и его кожух выполнены из листовой стали. На шасси установлены: 6 маленьких синхронных электродвигателей, контактор, два конденсатора КБГ-МН и сопротивление ПО-10. Под шасси находятся проволочное сопротивление и конденсатор КБГ-МН, служащие для искрогашения на контакте контактора. В конструкции предусмотрена возможность легкой замены и удобной чистки всех контактов генератора.

Устанавливается генератор СГИ-1 в раме отсека питания с задней стороны модели. Фиксация блока на месте обеспечивается направляющими планками и пружинящими роликами.

На фиг. 4.25 представлен общий вид генератора импульсов со снятым кожухом.

# § 8. СПЕЦИАЛЬНЫЙ КВАРЦЕВЫЙ ГЕНЕРАТОР ТИПА СКГ-1

Специальный кварцевый генератор СКГ-1 применяется в модели для питания синхронных моторчиков специального генератора импульсов. Основными свойствами, характерными для него, являются кварцевая стабилизация частоты и мощный трансформаторный выход. Блок-схема генератора показана на фиг. 4.26.

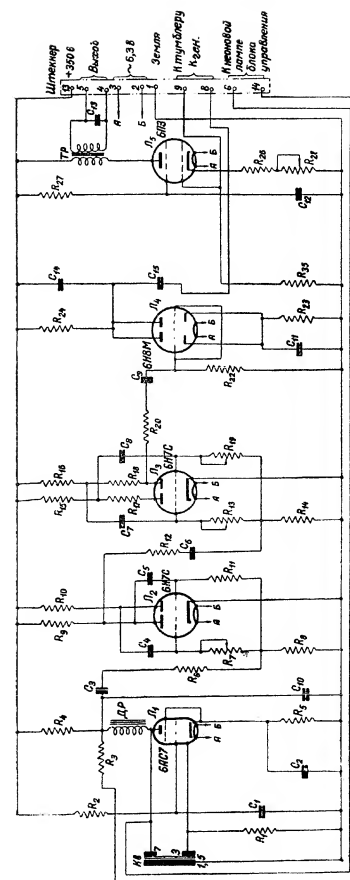


Фиг. 4.26. Блок-схема СКГ-1.

Схема генератора работает следующим образом. Переменное напряжение с выхода кварцевого генератора стабилизированной частоты 1000 гц подается на вход первого делителя частоты, который производит пятикратное деление частоты. Благодаря этому с выхода 1-го делителя частоты на вход 2-го делителя частоты подается напряжение частоты 200 гц. Второй делитель уменьшает частоту еще в 4 раза, вследствие чего на его выходе получается напряжение с частотой 50 гц. В качестве 1-го и 2-го делителей частоты используются симметричные мультивибраторы, синхронизируемые внешним периодическим напряжением. Буферный каскад служит для разделения второго делителя частоты и мощного выходного каскада. К выходу последнего каскада усиления по мощности напряжения частоты 50 гц подключается синхронный моторчик специального генератора импульсов модели.

Электрическая схема генератора приведена на фиг. 4.27. Первый ее каскад на лампе  $L_1$  (6AC7) вместе с кварцем (типа КТ-1), включенным между управляющей сеткой и анодом, представляет собой генератор стабильной частоты 1000 гц. Стабилизация частоты при помощи кварца общеизвестна. Стабильность частоты такого кварцевого генератора очень велика (порядка  $10^{-4}$ — $10^{-5}$  гц), чем обеспечивается очень точная развертка переменных коэффициентов во времени. В случае, если для развертки переменных коэффициентов достаточно точность во времени порядка 2%, то генератор импульсов модели можно питать прямо от сети переменного тока частотой 50 гц; при этом необходимость в кварцевом генераторе отпадает.

Переменная слагающая анодного тока лампы  $L_1$  создает падение напряжения на анодном дросселе этой лампы. Зажигание неоновой лампы, присоединенной через ограничительное сопротивление  $R_3$  к дросселю, указывает на возникновение генерации. Сопротивление  $R_3$  и емкость  $C_2$  служат для автоматического смещения рабочей точки каскада. Часть выходного напряжения генератора, снимаемая с анодного сопротивления  $R_4$ , через переходную емкость  $C_3$  подается на делитель напряжения, состоящий из сопротивлений  $R_5$  и  $R_6$ . С сопротивления  $R_6$  напряжение сигнала подается одновременно на сетки обеих половин лампы  $L_2$  (6Н7С), являющейся первым делителем частоты. Подгонкой сопротивлений  $R_7$  осуществляется изменение собственной частоты мультивибратора. Как уже указывалось выше, 1-й делитель настраивается



Фиг. 4.27. Электрическая схема СКГ-1.

на частоту 200 гц. Напряжение с выхода 1-го мультивибратора подается через сопротивление  $R_2$  и емкость  $C_6$  на второй мультивибратор, собранный на лампе  $L_2$  (6Н7С), схема которого аналогична схеме первого

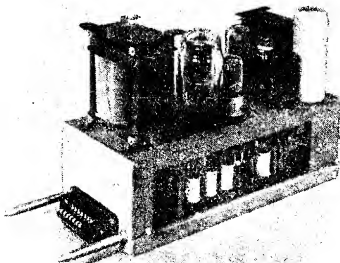
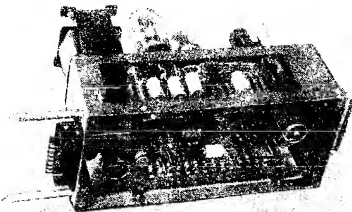


Рис. 4.28. Вид СКГ-1 со снятым кожухом.

мультивибратора. Регулировка этого мультивибратора производится сопротивлениями  $R_{13}$  и  $R_{18}$ . Настройка ведется на частоту 50 гц. Таким образом, оба мультивибратора осуществляют 20-кратное деление частоты. Следующий — буферный каскад на лампе  $L_4$  (6АС7) представляет собой обычный усилительный каскад. Емкость  $C_4$ , включенная параллельно анодной нагрузке ( $R_{14}$ ), служит для шунтирования высших гармоник, в результате чего подаваемые на вход каскада колебания почти прямоугольной формы принимают форму, близкую к синусоидальной. Оконечный каскад работает на лампе  $L_5$  (6П3), анодной нагрузкой которой является первичная обмотка трансформатора. Вторичная обмотка трансформатора вместе с емкостью  $C_{12}$  образует резонансный контур, настроенный на частоту 50 гц. Ко вторичной обмотке трансформатора подсоединяется синхронный моторчик. При подаче с выхода буферного каскада напряжения сигнала на сетку лампы  $L_5$ , что производится при включении тумблера  $K_{10}$  на лицевой панели блока управления, на обмотку синхронного моторчика подается напряжение порядка 127—130 в высокочастотной частоты 50 гц, вследствие чего моторчик вращается со строго постоянной скоростью.

Конструктивно кварцевый генератор оформлен в виде отдельного самостоятельного прибора (см. фиг. 4.28 и 4.29). Электрическое соединение прибора с источниками питания (+350 в, «земля» и 6,3 в переменного тока для накала нитей ламп),



Фиг. 4.29. Вид СКГ-1 со стороны монтажа.

с моторчиком, с неоновой лампой и тумблером  $K_{10}$ , находящимися в блоке управления, производится посредством 14-контактного штеккера.

В схему кварцевого генератора входят следующие основные элементы: кварц типа КТ-1, 1 лампа 6АС7, 2 лампы 6Н7С, 1 лампа 6Н8М и одна выходная лампа 6П3, анодный дроссель, трансформатор, сопротивления и емкости. Сопротивления и большинство емкостей расположены на 2 платах, помещенных вдоль боковых стенок шасси.

Емкости  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{12}$  и  $C_{13}$  крепятся к шасси с помощью хомутиков. Снизу монтаж прибора закрывается металлическим дном. Сверху на шасси одевается металлический кожух, имеющий вентиляционные отверстия для охлаждения.

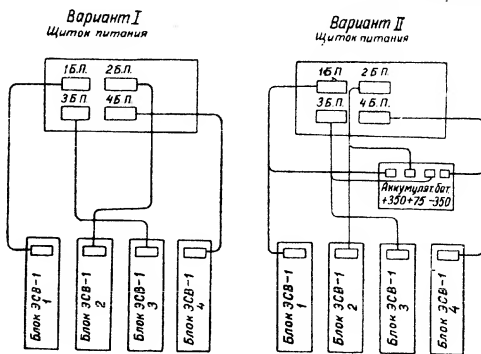
## Глава 5

### МОНТАЖ МОДЕЛИ

Все электрические цепи в модели можно разделить на цепи питания усилителей постоянного тока, цепи основной измерительной части модели, цепи управления вспомогательных электрохимических узлов модели и цепи питания постоянным током 24 в.

#### § 1. ЦЕПИ ПИТАНИЯ УСИЛИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В модели предусмотрены два основных варианта включения источников питания для усилителей постоянного тока УПТ-4. Первый вариант



Фиг. 5.1. План внешних кабельных соединений модели

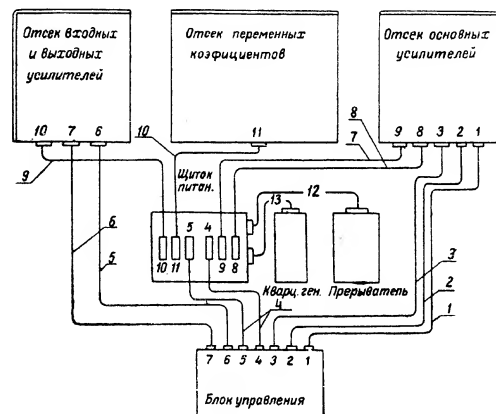
предусматривает подключение к щитку питания модели типовых электронно-стабилизированных блоков питания ЭСВ-1.

Второй вариант предусматривает подключение аккумуляторных батарей, обеспечивающих весьма стабильные напряжения +350 в, +75 в,

и — 350 в для питания анодных цепей первых двух каскадов усилителей постоянного тока. Вторым источником питания при этом варианте служит типовой блок питания ЭСВ-1 (см. фиг. 5.1).

Поступая на щиток питания, напряжения распределяются следующим образом: цепи питания 1-го, 2-го и 3-го блоков питания направляются к отсеку основных усилителей, где соответственно поступают на 1-й и 2-й, на 3-й и 4-й, на 5-й и 6-й блоки основных усилителей (см. фиг. 3.1).

Для исключения наводок напряжения 50 гц от цепей накала ламп на цепи анодных напряжений цепи накала ведутся отдельными экранированными жгутами и отдельными экранированными кабелями 7 и 8 (см. фиг. 5.2). Напряжения 4-го блока питания поступают на блок



Фиг. 5.2. План внутренних кабельных соединений модели.

входных и блок выходных усилителей. Как и в предыдущем случае, для исключения наводок частотой 50 гц на цепи анодных напряжений от цепей накала ламп эти цепи также ведутся отдельными экранированными жгутами в отдельном кабеле 9 (см. фиг. 5.2).

Для исключения перепада напряжений постоянного тока на различных участках земляной шины, при питании накалов первых ламп усилителей УПТ-4 от источника напряжения постоянного тока, и для устранения добавочной фоновой составляющей 50 гц, при питании их от источника напряжения переменного тока, цепи накала первых ламп ведутся изолированно от земли и заземляются только в одной точке у источника питания.

Цепи накала в блоках основных усилителей, входных и выходных усилителей ведутся отдельными экранированными жгутами и для уменьшения наводок на измерительные цепи модели перевиваются попарно между собой.

Земляная цепь на каркасах ИПТ-4 выполнена в виде толстой медной луженой шины, что обеспечивает надежное заземление элементов схемы модели. Сама земляная шина модели должна иметь весьма хорошее и надежное заземление.

## § 2. ЦЕПИ ОСНОВНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ БЛОКОВ МОДЕЛИ

Блок-схема модели (см. фиг. 3.1) представляет сочетание отдельных блоков, связанных механически каркасом, а электрически жгутовой системой проводов, пролегающей по каркасу. Соединение отдельных блоков осуществляется посредством штеккеров и кабелей.

Блоки основных усилителей, вдвигаясь в каркас, через штеккеры подсоединяются как к источникам питания, которые были описаны выше, так и к цепям измерительной схемы.

Выходы блоков переменных коэффициентов по экранированным цепям подключаются к соответствующим блокам основных усилителей. Экранировка этих цепей обеспечивает отсутствие наводок на них от цепей питания.

Установка нулей усилителей всех блоков централизована в пульте управления. Цепи установки нуля для экранировки от внешних наводок ведутся в пульте управления экранированным проводом. Эти цепи подаются также экранированными кабелями 1 и 2 (см. фиг. 5.2) к отсеку основных усилителей и кабелем 5 к отсеку входных и выходных усилителей.

На отсеках и в соответствующих блоках эти цепи ведутся также экранированным проводом. Выходы всех усилителей выведены в пульт управления, в блок выходных усилителей и на каркас сменных блоков постоянных и переменных коэффициентов.

Введение начальных условий и постоянных возмущений также осуществляется из пульта управления. Эти цепи и цепи выходов усилителей ведутся: кабелем 3 к отсеку основных усилителей и кабелем 6 — к отсеку входных и выходных усилителей (см. фиг. 5.2). По каркасу эти цепи поступают к штеккерам соответствующих блоков.

Межкаркасные соединения трех отсеков модели осуществляются напайкой перемычек между противостоящими лепестками плат соответствующих каркасов.

## § 3. ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ МОДЕЛИ И ЦЕПИ ПИТАНИЯ 24 В ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для искателей в сменных блоках и для релейной схемы на модель ИПТ-4 подается напряжение постоянного тока 24—26 в.

Силовые цепи питания ведутся отдельным жгутом. Кабелем 12 (см. фиг. 5.2) к щитку питания подключается генератор импульсов. Со щитка питания цепи импульсного питания и управляющие цепи из блока управления по кабелю 11 подаются на отсек переменных коэф-

фициентов, где расходятся отдельными жгутами на штеккеры сменных блоков. Для исключения наводок на измерительные цепи эти жгуты ведутся отдельно от измерительных цепей.

Блок управления подключается кабелем 4 к щитку питания, откуда управляющие цепи по кабелю 12 проходят в генератор импульсов, по кабелю 13 — в кварцевый генератор и по кабелю 11 — на отсек переменных коэффициентов.

Все цепи питания выполнены проводом с высокой изоляцией.

## Глава 6 ПИТАНИЕ МОДЕЛИ

### § 1. РЕЖИМЫ ПИТАНИЯ БЛОКОВ МОДЕЛИ

В модели ИПТ-4 используется питание двух типов:

1. Питание измерительной части модели (усилителей постоянного тока, схемы задания начальных условий и постоянных возмущений) от высокостабильных источников.

2. Питание электромагнитных механизмов блока управления, блоков переменных коэффициентов и блоков основных усилителей.

### § 2. ПИТАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ МОДЕЛИ

Основными потребителями электрической энергии в измерительной схеме модели являются усилители постоянного тока в блоках основных усилителей и во входных и выходных блоках.

В отношении питания вся измерительная часть модели разбита на 4 зоны. Цепи питания каждой зоны совершенно автономны по отношению к другим зонам. В первые три зоны входят шесть блоков основных усилителей (по 2 блока в каждую зону), а в 4-ю зону — входной и выходной блоки и кварцевый генератор, который может подключаться и к другим источникам питания.

В таблице 1 приведены максимальные значения токов, потребляемых одним усилителем постоянного тока в зависимости от величины анодной нагрузки его выходного каскада, а в таблице 2 — максимальные значения токов, потребляемых одним блоком основных усилителей, 1-й, 2-й и 3-й зонами питания (мощность, потребляемая каждой из этих зон, одинакова) и 4-й зоной питания.

Для питания модели ИПТ-4 рекомендуется применять два основных варианта источников питания, схемы подключения которых описаны в главе 5.

Таблица 1

$R_{из}(ком)$	Максимальный потребляемый ток $I_{max}$ (ма) при напряжениях						
	+350 1-й и 2-й каскады	+75	-350	-190	+350 3-й кас- кад	6,3 зазем- ленный	6,3 неза- землен
40	2	2	2	17,5	12	600	900
20	2	2	2	35	24	600	900
10	2	2	2	70	50	600	900
7,5	2	2	2	95	68	600	900

Таблица 2

Потребитель	Максимальный потребляемый ток $I_{max}$ (ма) от источников при напряжениях (в)						
	+350 1-й и 2-й каскады	+75	-350	-190	+350 3-й кас- кад	6,3 заземл.	6,3 не заземл.
1 блок основных усилителей	8	8	8	230	175	2400	3600
1 зона (1, 2 или 3)	16	16	16	460	350	4800	7200
4-я зона питания	16	16	16	315	326	6900	8100

### § 3. ЭЛЕКТРОННО-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ ЭСВ-1

#### 1. Назначение прибора

Блок питания типа ЭСВ-1 (электронно-стабилизированный выпрямитель) является основным источником питания модели ИПТ-4. Один блок питания может одновременно питать до 14 усилителей постоянного тока типа УПТ при максимальном токе в цепи нагрузки каждого усилителя 10 ма.

Блок питания имеет на выходе четыре высокостабилизированных напряжения постоянного тока, имеющих следующие номинальные значения относительно «земли»: — 350 в, — 190 в, + 75 в и + 350 в.

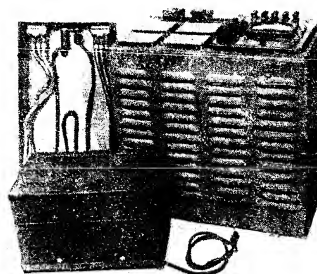
В таблице 3 приведены значения допустимых нагрузок для этих напряжений. Кроме того, блок имеет два независимых выхода напряжения переменного тока 6,3 в с максимальным током 8,4 а и 12,6 а, необходимых для питания нитей накала ламп усилителей.

Таблица 3	
Напряжение (в)	Допустимая нагрузка (ма)
— 350	50
— 190	50
+ 75	50
+ 350	350

Блок питания включается в сеть 220 в 50 гц через феррорезонансный стабилизатор типа ЭПА-58, коэффициент стабилизации которого составляет не менее 30. Общий коэффициент стабилизации каждого источника блока — более 1500.

Блок имеет вольтметр класса 1,5, который служит для контроля номинальных значений выходных напряжений постоянного тока.

Общий вид прибора в комплекте с ферроста-



Фиг. 6.1. Общий вид блока питания ЭСВ-1 с феррорезонансным стабилизатором



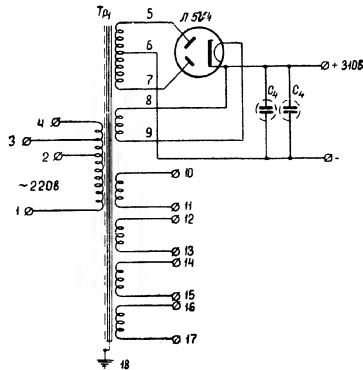
биллизатором дан на фиг. 6.1. Конструкция блока питания — пюблочная. Она допускает удобный доступ к лампам и к монтажу.

Время выхода прибора на стационарный режим — 30 мин. Практически, однако, блоком можно пользоваться уже спустя 10—15 мин. после его включения. Он допускает длительную, непрерывную эксплуатацию в лабораторных условиях при полной нагрузке.

Прибор состоит из четырех, по существу, автономных двухполупериодных выпрямителей с фильтрами и с усилителями-стабилизаторами. Он имеет общую панель управления и контроля всеми стабилизированными напряжениями.

## 2. Выпрямители с фильтрами

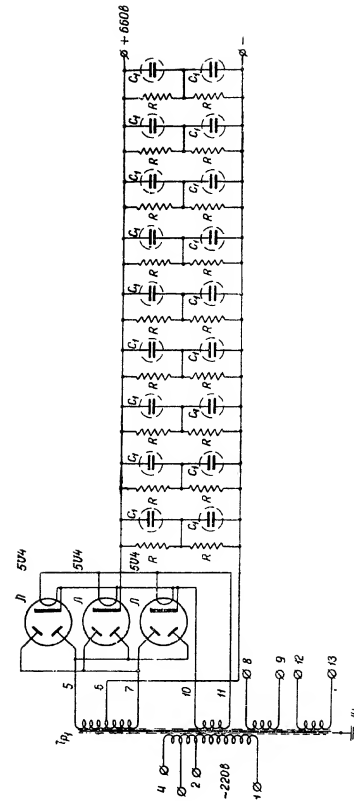
На фиг. 6.2—6.5 даны электрические схемы выпрямителей с фильтрами для каждого из четырех источников. Каждый выпрямитель имеет



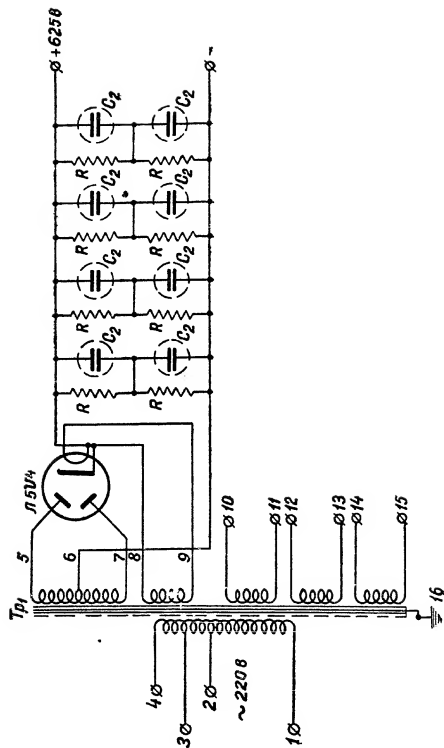
Фиг. 6.2. Схема выпрямителя с фильтрами для источника +75 в.

свой силовой трансформатор. Схемы выпрямителей — двухполупериодные на кенотронах типа 5U4. Число кенотронов определяется максимальным током, снимаемым с выпрямителей.

Выпрямители имеют чисто емкостные фильтры, за исключением выпрямителя на —190 в, в схеме фильтра которого имеется, кроме того, дроссель. Величина емкостей фильтров различна; она пропорциональна снимаемому с источников току.

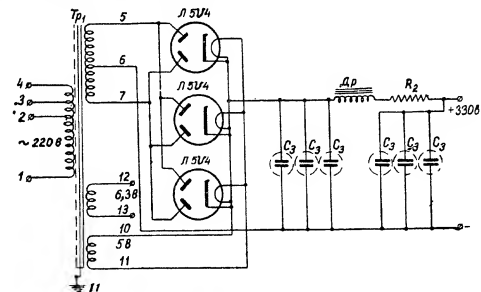


Фиг. 6.3. Схема выпрямителя с фильтрами для источника +350 в.



Фиг. 6.4. Схема выпрямителя с фильтрами для источника — 350 в.

Силовые трансформаторы и дроссель укрепляются непосредственно на раме прибора. Электролитические конденсаторы всех фильтров размещены на общей съемной плате.



Фиг. 6.5. Схема выпрямителя с фильтрами для источника — 190 в.

### 3. Усилители-стабилизаторы

Усилители-стабилизаторы источников блока питания отличаются друг от друга (за исключением источников — 350 в и +350 в) принципиальной схемой стабилизатора, обеспечивающей для каждого отдельного случая наилучшие результаты стабилизации.

#### Стабилизаторы +350 в и —350 в

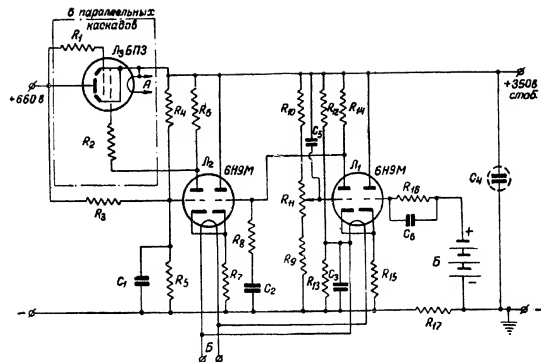
Усилители-стабилизаторы этих источников идентичны. Каждый из них является усилителем постоянного тока с катодным повторителем на выходе. Усилитель замкнут сам на себя, т. е. находится в режиме сто- процентной отрицательной обратной связи.

На фиг. 6.6 и 6.7 даны принципиальные схемы стабилизаторов источников +350 в и —350 в.

Они отличаются лишь тем, что в схеме стабилизатора +350 в для получения большого тока в нагрузке вместо одной «пропускающей» лампы катодного повторителя включено параллельно 6 ламп того же типа (6П13).

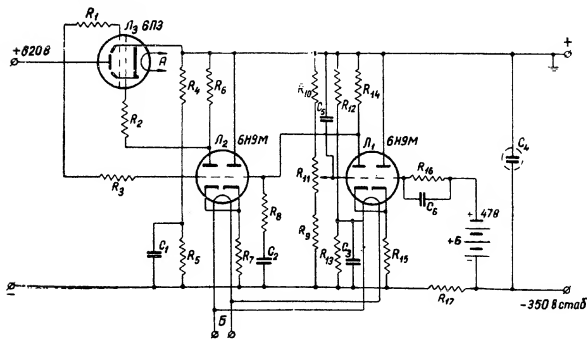
Усилитель стабилизаторов является двухкаскадным усилителем постоянного тока катодно-связанного типа на двойных триодах типа 6Н9М, имеющих большой коэффициент усиления. Эта схема при наладке не критична; она имеет 3 управляющих сетки, служащие для подачи: входного напряжения (на сетку лампы  $L_1$ ), эталонного напряжения сравнения (на сетку лампы  $L_2$ ), по отношению к которому осуществляется стабилизация, и части нестабилизированного напряжения выпрямителя (на сетку лампы  $L_3$ ) для обеспечения стабилизации по сети.

В качестве эталонного напряжения сравнения используется напряжение сухой батареек (+Б или —Б), равное 47 в.



Фиг. 6.6. Схема стабилизатора +350 в.

Сопротивление  $R_{17}$  служит для более точной стабилизации схемы по нагрузочному току. Нагрузочная характеристика стабилизатора — падающая; введение регулировочного сопротивления  $R_{17}$  может сделать нагрузочную характеристику поднимающейся, а при правильном подборе величины сопротивления — почти горизонтальной.



Фиг. 6.7. Схема стабилизатора -350 в.

Номинальное напряжение на выходе стабилизатора (350 в) может устанавливаться потенциометром  $R_{11}$  входного делителя усилителя.

Емкости  $C_1$  и  $C_2$  введены в схему для фильтрации переменного напряжения, проникающего по цепи накала и с выхода выпрямителя.  $RC$  — цепочка, состоящая из емкости  $C_3$  и сопротивления  $R_8$ , препятствует самовозбуждению усилителя.

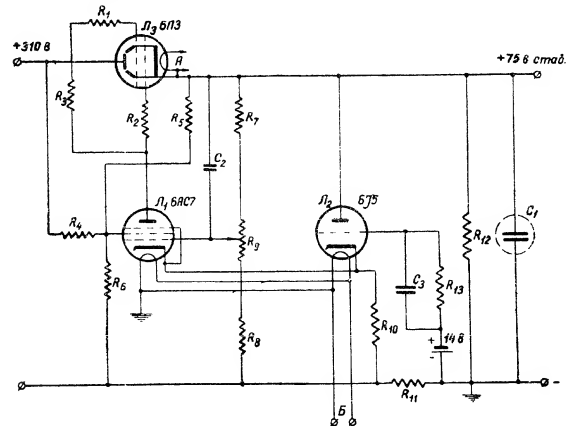
Подбор величины сопротивления  $R_3$  обеспечивает горизонтальность характеристики, выражающей зависимость выходного стабилизированного напряжения от колебания напряжения сети.

Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_4$ ,  $C_5$  и  $C_6$ .

Коэффициент стабилизации данной схемы без ферростабилизатора равен около 125.

#### Стабилизатор +75 в

Электрическая схема стабилизатора дана на фиг. 6.8. В этой схеме применяется однокаскадный усилитель постоянного тока на пентоде типа 6АС7 ( $\Pi_1$ ), имеющем большую крутизну. В качестве «пропускающей» лампы используется, как и в схеме +350 в, лампа типа 6П3.



Фиг. 6.8. Схема стабилизатора +75 в.

В качестве эталонного напряжения используется часть сухой батареи источника +350 в (14 в). Это напряжение вводится в схему через катодный повторитель на лампе 6Д5.

Лампы 6АС7 и 6J5 имеют общее катодное сопротивление и, таким образом, потенциал на катоде лампы 6АС7 задается жестко. Входное напряжение усилителя поступает на четвертую сетку лампы 6АС7. На экранную сетку этой лампы через сопротивление  $R_4$  подается часть выходного нестабилизированного напряжения выпрямителя, обеспечивающая горизонтальность характеристики зависимости выходного напряжения от колебаний напряжения сети.

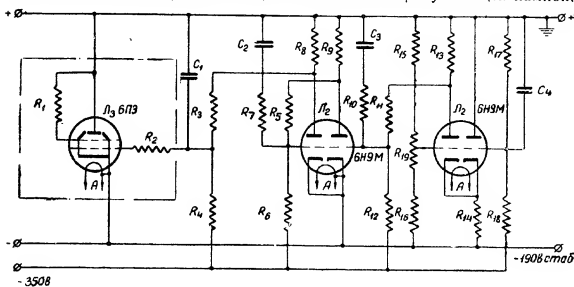
Для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора в схеме применяются емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ .

Сопротивление  $R_{11}$  так же, как и в схемах источников напряжения 350 в, служит для точной стабилизации схемы по току нагрузки.

Получение высокого коэффициента стабилизации при относительно низком значении номинального напряжения (+75 в) представляет большую трудность. Данная схема значительно лучше других известных схем. Коэффициент стабилизации ее без ферростабилизатора равен около 50.

#### Стабилизатор — 190 в

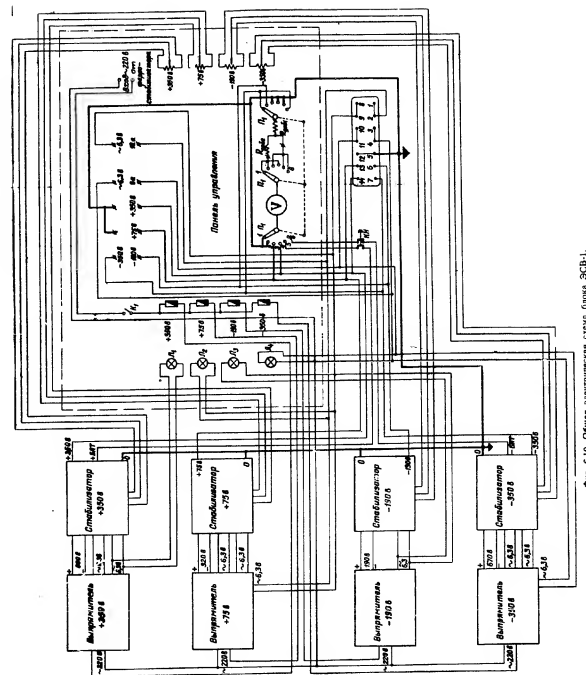
Схема стабилизатора — 190 в принципиально отличается от схемы стабилизации 350 в применением, вместо лампы с пропускающей лампой.



Фиг. 6.9. Схема стабилизатора — 190 в.

схемы с шунт-лампой, т. е., по существу она представляет собой электронный стабилитрон. Применение этой лампы обусловлено тем, что при весьма значительном токе, который должен давать источник — 190 в, схема с шунт-лампой является наиболее экономичной и целесообразной для данного номинального напряжения на выходе.

На фиг. 6.9 приведена электрическая схема стабилизатора — 190 в. Ток, проходящий через лампы 6ПЗ, включенные параллельно выходу, регулируется трехкаскадным усилителем постоянного тока на 2 двойных триодах типа 6Н9М (имеющих большой коэффициент усиления), с тем, чтобы обеспечивать постоянство подающегося на эти лампы напряжения. Нагрузка подключается к выходу выпрямителя параллельно шунт-лампам.



Фиг. 6.10. Полная электрическая схема стабилизатора 190 в.

От выпрямителя потребляется максимальный и постоянный по величине ток, автоматически перераспределяемый схемой стабилизатора между внешней нагрузкой и шунт-лампами. При полной внешней нагрузке схема имеет максимально высокий к. п. д.

Применение схемы с шунт-лампой при малой ее нагрузке не экономично и поэтому не рационально.

Лампа  $L_1$  является каскадом усиления катодно-связанного типа. Эталонное напряжение сравнения подается на одну сетку лампы от стабилизированного источника — 350 в через делитель  $R_{17}-R_{18}$ . На другую сетку лампы усилителя подается входное напряжение.

Номинальное напряжение на выходе устанавливается потенциометром  $R_9$ .

Лампа  $L_2$  является двухкаскадным усилителем постоянного тока, имеющим связь между каскадами через делители на сопротивлениях, подключаемых к источнику — 350 в; поэтому источник — 190 в не может работать без источника — 350 в.

Собственный коэффициент стабилизации источника — 190 в велик (около 1700), однако, ввиду непосредственной связи этого источника с источником — 350 в, дрейф на его выходе лишь вдвое меньше, чем у источника — 350 в.

Принцип построения схемы источника — 190 в и высокий коэффициент стабилизации позволяют не вводить в нее регулировки по напряжению сети и по току нагрузки.

$RC$  — цепочки, состоящие из элементов  $C_2-R_7$  и  $C_3-R_{10}$ , и емкость  $C_1$  препятствуют самовозбуждению усилителя. Емкость  $C_4$  служит для уменьшения фоновой составляющей на выходе стабилизатора.

#### 4. Общая электрическая схема прибора ЭСВ-1

На фиг. 6.10 приводится общая электрическая схема прибора ЭСВ-1, показывающая соединения его отдельных блоков.

Трансформаторы выпрямителей через свои предохранители и общий выключатель подключены ко входу питания, который включается в сеть 220 в 50 гц через ферростабилизатор типа ЭПА-58. Четыре лампы, расположенные на панели управления прибором, сигнализируют о включенном состоянии каждого из четырех стабилизированных источников блока.

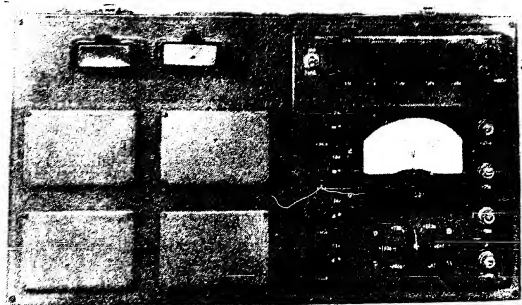
Напряжения с фильтров выпрямителей поступают на схемы стабилизаторов. Выходные стабилизированные напряжения, а также 2 номинальных напряжения: 6,3 в, 8,4 в и 6,3 в, 12,6 в, которые берутся с трансформаторов источников — 350 в и +75 в, поступают на выходные клеммы и на два выходных штеккерных гнезда.

Все потенциометры стабилизаторов, служащие для регулировки и установки выходных номинальных напряжений, вынесены на панель управления блока питания и помещаются рядом с контрольным вольтметром блока, который может подключаться переключателем поочередно к каждому из выходов стабилизаторов и к выводам 2 номинальных значений напряжений сухой батареи.

#### 5. Конструкция прибора

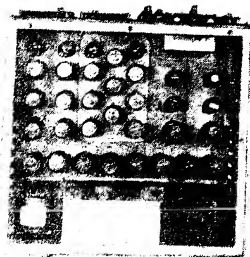
Общий вид блока питания типа ЭСВ-1 дан на фиг. 6.1. На фиг. 6.11 дан вид верхней части прибора с панелью управления. На фиг. 6.12

дан вид на блок со стороны ламп, а на фиг. 6.13 — вид на прибор со стороны монтажа.



Фиг. 6.11. Вид на верхнюю панель блока питания.

На цельносварном металлическом каркасе (раме) (см. фиг. 6.12) внизу укреплены в ряд 4 силовых трансформатора источников:  $\pm 350$  в,  $\pm 190$  в,  $\pm 350$  в и  $\pm 75$  в (слева направо).



Фиг. 6.12. Вид на блок со стороны ламп (со снятой боковой крышкой).  
(см. фиг. 6.13). На верхней съемной плате (фиг. 6.11) находится панель управления прибором.

В центре перед трансформаторами помещена в защитном кожухе сухая батарея эталонных напряжений, а справа от нее находится дроссель источника  $\pm 190$  в и добавочное сопротивление  $R_1$  выпрямителя  $\pm 190$  в (фиг. 6.5).

Над трансформаторами расположена плата с кенотронами. Над ней помещаются 4 съемные платы стабилизаторов.

Лампы в блоке располагаются горизонтально и крепятся пружинными ламповыми держателями.

С обратной стороны (со стороны монтажа) против платы с кенотронами расположена съемная плата с электролитическими конденсаторами, фильтрами выпрямителей

В центре панели расположен двухшкальный контрольный стрелочный вольтметр (на 100 в и 400 в) блока, а под ним ручка переключателя, служащего для подключения вольтметра к выходам стабилизаторов и к двум контрольным напряжениям эталонных батарей.

Слева от вольтметра находятся предохранители и сигнальные лампочки трансформаторов, а справа — потенциометры установки номиналов стабилизированных напряжений.

Над вольтметром расположены клеммы всех выходных напряжений блока, сетевой тумблер и вилка входа шланга питания.

На фото фиг. 6.11 видны два выходных штеккера, являющиеся выходами блока питания.

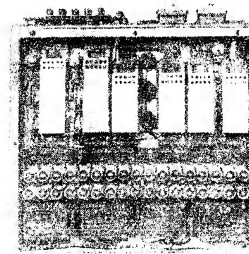
Для обеспечения необходимой вентиляции верхняя панель имеет «фонари». На всех боковых стенках имеются жалюзи, а дно имеет много отверстий.

Для защиты стрелочного вольтметра от нагрева имеется кожух с асбестовой прокладкой.

#### § 4 ПИТАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ МОДЕЛИ

Питание электромагнитных механизмов и сигнальных лампочек в модели производится от источника напряжения постоянного тока 24—26 в. Это напряжение можно брать от мотор-генератора, от аккумуляторной батареи или от выпрямителя с условием, что в последнем случае будет применена хорошая фильтрация.

Наибольший ток, который может потребоваться от этого источника, равен 20—25 а.



Фиг. 6.13. Вид на блок со стороны монтажа (со снятой боковой крышкой).

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

ТЕХНИЧЕСКИЕ ОТЧЕТЫ

Бардиж В.В., Визун Ю.И., Кобелев В.В.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
МАГНИТНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗАПОМИНАЮЩЕГО  
УСТРОЙСТВА

1956

В отчете рассмотрены некоторые вопросы повышения надежности магнитного оперативного запоминающего устройства матричного типа путем введения динамического смещения, разделения считывающей обмотки на отдельные части, а также использования ленточных сердечников для дешифраторов.

Приведены результаты экспериментальных исследований.

Certain problems are considered bearing on increasing the reliability of the magnetic-core matrix memory by introducing dynamic bias, breaking up the reading winding into separate parts, and employing tape cores in decoders.

Results of experimental studies are presented.

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАГНИТНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса находят за последнее время все более широкое применение в устройствах вычислительной техники. Одной из важных областей применения таких сердечников являются запоминающие устройства. Положительными качествами запоминающей ячейки, построенной на основе магнитных сердечников, являются: практически неограниченный срок службы, небольшие габариты, малое время срабатывания, надежное хранение данных без периодической регенерации, малая стоимость.

Как известно из литературы [1], одним из способов построения параллельного запоминающего устройства на магнитных сердечниках является матричный способ расположения сердечников, относящихся к одному разряду, как это показано на рис.1. Избранный сердечник находится на пересечении избранных проводников (горизонтального и вертикального), которые соответствуют заданным значениям координат  $x$  и  $y$ .

Так как при обращениях к избранному сердечнику необходимо осуществлять не только считывание, но и запись, то  $i_x$  и  $i_y$  представляют собой разнополярные импульсы тока с амплитудами  $I_m/2$ . Во время такта считывания отрицательные импульсы токов  $i_x$  и  $i_y$  складываются и образуют отрицательный импульс тока с амплитудой  $I_m$ . Во время такта записи положительные импульсы токов  $i_x$  и  $i_y$ , либо складываются, образуя один положительный импульс тока с амплитудой  $I_m$ , либо, будучи смещенными во времени, образуют два положительных импульса тока с амплитудой  $I_m/2$  каждый.



В первом случае осуществляется запись единицы ("1"), во втором - запись нуля ("0"), так как ток с амплитудой  $I_m$  может перевести сердечник из одного состояния в другое, а токи с амплитудой  $I_m/2$  не должны изменять состояния сердечника. Обозначим через  $\alpha$  отношение тока, который меняет состояние сердечника, к току, который не должен его изменять, в данном случае  $\alpha = 2$ .

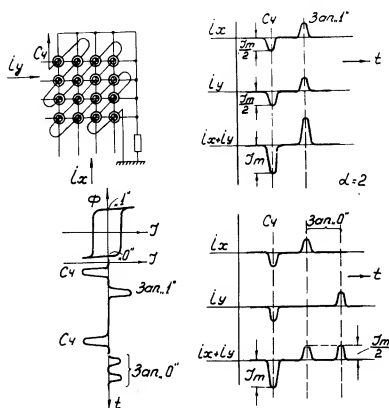


Рис. 1. Принцип построения матрицы запоминающего устройства для случая  $\alpha=2$  и временные диаграммы работы избранного сердечника

Так как реальные ферритовые сердечники, используемые для рассматриваемой матрицы, имеют характеристики, отличающиеся от идеализированной прямоугольной петли, то по величине коэффициента  $\alpha$  можно судить о запасе надежности устройства, о вероятности нежелательного изменения состояния сердечников под влиянием импульсов тока с амплитудой  $I_m/\alpha$ . Для снижения вероятности "разрушения информации" токами  $I_m/\alpha$  необходимо увеличить коэффициент  $\alpha$ .

В данной работе для увеличения коэффициента  $\alpha$  был применен принцип "динамического смещения".

Через каждый сердечник матрицы запоминающего устройства проходят 4 проводника. Два из них, лежащие на координатах  $x$  и  $y$ , используются для осуществления считывания и записи.

Третий проводник, проходящий через сердечники в диагональных направлениях, является считывающим проводником и служит для определения состояния избранного сердечника.

Четвертый проводник, проходящий через все сердечники матрицы, является проводником, по которому протекает ток динамического смещения  $i_{дсм}$ . Этот ток всегда направлен встречно токам  $i_x$  и  $i_y$ .

Амплитуда токов  $i_x$  и  $i_y$  равна  $2/3 I_m$ , а тока динамического смещения -  $1/3 I_m$ .

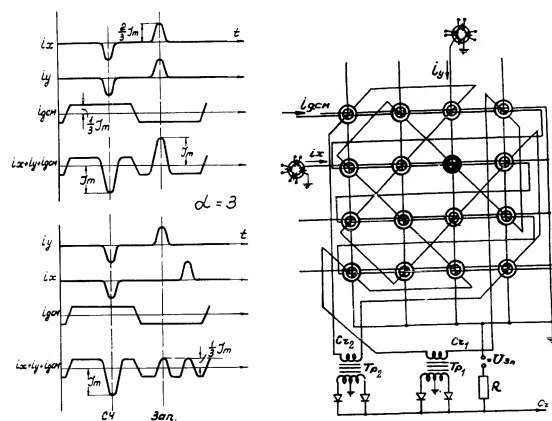


Рис. 2. Принцип построения матрицы запоминающего устройства для случая  $\alpha=3$  с разделением считывающего провода на две части и временные диаграммы работы избранного сердечника

На рис.2 показана схема построения матрицы запоминающего устройства с использованием динамического смещения, а также приведены временные диаграммы, иллюстрирующие принцип работы избран-

ного сердечника. Диаграммы относятся к двум случаям: считывание и запись "1", считывание и запись "0".

Как видно из диаграмм, отношение тока записи "1" к току записи "0" равно 3.

Для неизбранных сердечников, лежащих на избранных линиях, величина паразитного тока возбуждения не превосходит  $1/3 I_m$ , т.к.

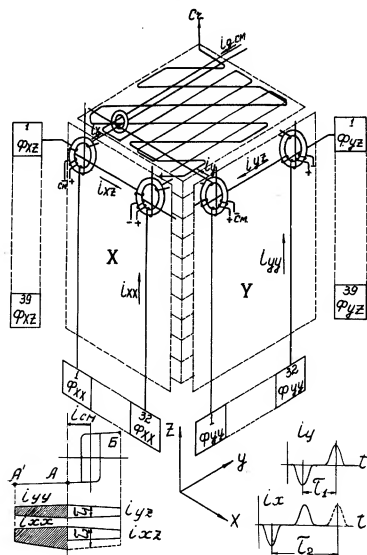


Рис. 3. Принцип построения магнитного оперативного запоминающего устройства

эта величина численно равна разности тока  $i_x$  (или  $i_y$ ) и тока  $i_{д см}$ . На все остальные сердечники, лежащие вне избранных линий, воздействует ток смещения, величина которого не превышает  $1/3 I_m$ . Таким образом, для всех сердечников  $\alpha=3$ .

К моменту появления импульсов тока в линиях  $x$  и  $y$  все переходные процессы в сердечниках, вызванные изменением направления тока динамического смещения, уже заканчиваются. Поэтому все сердечники, в том числе и избранный к этому моменту, оказываются в состоянии статического смещения, и помеха, появляющаяся в считывающем проводе от изменения направления тока  $i_{д см}$ , может быть легко отстроирована.

С целью повышения надежности работы запоминающего устройства был исследован также вопрос увеличения отношения сигнала к помехе путем разделения считывающей обмотки на отдельные части.

В описанных матричных системах считывающая обмотка является общей для всей матрицы. Допустим, что она расположена так, как показано на рис. 1. Тогда, если считать, что во всех проводниках  $x$  и  $y$ , кроме двух избранных, токи равны нулю, и пренебречь помехами от посторонних полей, то в считывающей обмотке наводится ЭДС, которая определяется согласно следующей известной формуле [2].

$$e_{cr} = \pm [e_1 - 2e_2 + (n-2)e_3],$$

где  $e_1$  - ЭДС от избранного сердечника (при считывании "1" имеет большую амплитуду, при считывании "0" - малую);

$e_2$  - ЭДС помехи от сердечника, расположенного на избранном проводнике  $x$  или  $y$ ;

$e_3$  - разность ЭДС помех от двух сердечников, лежащих на избранных проводниках и расположенных по-разному относительно считывающей обмотки;

$n$  - количество входных проводников по  $x$  или  $y$ .

Как видно из этой формулы, увеличение  $n$  приводит к увеличению помех. Эти помехи могут оказаться такой величины, что, суммируясь с сигналами от считывания "0" или "1" с избранного сердечника, затруднят или сделают невозможным различение последних.

Для увеличения отношения сигнала к помехе при считывании была проверена возможность применения считывающей обмотки, разделенной на несколько частей в сочетании со схемой объединения с "под-

резанием" сигнала снизу. На рис.2 показано разделение считывающей обмотки на 2 части:  $Cr1$  и  $Cr2$ .

Сигналы с этих двух частей усиливаются по амплитуде и после двухполупериодного выпрямления объединяются. За счет создания запирающего потенциала на сопротивлении  $R$  осуществляется "подрезание" снизу результирующего считывающего сигнала. При этих условиях выходные сигналы получаются одной полярности, значительно уменьшается помеха, увеличивается отношение сигнала к помехе.

По схеме рис.2 имеем:

$$e_{cr1} = \pm [e_1 - 2e_2 + (\frac{n}{2} - 2)e_3],$$

$$e_{cr2} = \pm \frac{n}{2} e_3.$$

считая, что избранный сердечник находится на первом считывающем проводе. Как видно из этих формул, помехи от ЭДС  $e_3$  разделяются на две части и  $e_{cr2}$  легко может быть устранена путем подачи соответствующего запирающего смещения на сопротивление  $R$ .

Кроме того, величина  $e_{cr1}$  при считывании "0" может быть значительно снижена за счет запирающего смещения. Причем в обоих случаях для уменьшения помех полезно используется нелинейная характеристика полупроводниковых выпрямителей, стоящих во вторичных обмотках трансформаторов  $Tp1$  и  $Tp2$ . При большом  $n$  (т.е. при большом количестве сердечников матрицы, равно  $n^2$ ) можно разбивать считывающую обмотку и на большее число частей.

На надежность работы матричного запоминающего устройства существенно влияет стабильность токов  $i_x$  и  $i_y$ , поступающих от сердечников магнитных дешифраторов.

По временным параметрам для матрицы запоминающего устройства, работающей на принципе совпадающих токов, очевидно, целесообразно использовать ферритовые сердечники. Для дешифраторов, где возможно применение режимов токовых форсировок, могут быть использованы и ленточные сердечники. Весьма ценным качеством этих сердечников, по сравнению с ферритовыми, является высокая температурная стабильность их характеристик, что приводит к стабильности выходных токов  $i_x$  и  $i_y$ .

Учитывая изложенные соображения, была разработана и исследована схема матричного магнитного запоминающего устройства. Общие принципы работы этой схемы показаны на рис.3. Здесь изображены платы запоминающего устройства, на которых располагаются ферритовые сердечники, предназначенные для хранения информации (на схеме для наглядности изображен только один сердечник). Условно показаны плоскости, в которых располагаются вспомогательные сердечники, образующие дешифраторы  $X$  и  $Y$  для всех плат запоминающего устройства. Показаны также ламповые формирователи, управляемые электронной схемой.

Запоминающее устройство проектировалось для хранения 1024 чисел, каждое из которых имеет 39 двоичных разрядов.

Одно число записывается вдоль координаты  $z$  во всех 39 платах. При этом на каждой плате используется по одному сердечнику.

Цикл работы состоит из двух тактов: 1-й такт - считывание, 2-й - запись. Считывание и запись информации производятся с помощью токов  $i_x$  и  $i_y$  одновременно во всех сердечниках, принадлежащих к одной ячейке (т.е. во всех сердечниках, определяемых координатой  $z$ ).

Токи  $i_x$  и  $i_y$  возникают в линиях  $x$  и  $y$  от ЭДС, индуцируемых в выходных обмотках сердечников дешифратора. Каждый сердечник дешифратора под воздействием постоянного тока смещения  $i_{cm}$  находится в состоянии, характеризуемом точкой  $A$  (рис.3). Импульсы тока от формирователей  $\Phi_{yz}$ , достаточные для перевода сердечника дешифратора из состояния  $A$  в состояние  $B$ , подаются одновременно во все сердечники, принадлежащие одному разряду. Выбор необходимой координатной линии производится путем подачи импульсов тока  $i_{yy}$  от всех формирователей  $\Phi_{yy}$ , кроме того, связанного с избранной координатой  $y$ .

Токи формирователей  $\Phi_{yy}$  и  $\Phi_{yz}$  (а точнее, ампервитки, созданные токами  $i_{yy}$  и  $i_{yz}$ ) компенсируют друг друга, и неизбранные сердечники дешифратора не изменяют своего состояния (точка  $A$ ). В избранной же координате  $y$  формирователь  $\Phi_{yy}$  не дает импульса тока, и поэтому все сердечники дешифратора, соответствующие данной

координате, под действием токов формирователей  $\Phi_{y\pm}$  посылают одновременно в избранные координатные линии токи  $i_y$ , в форме двух разнополярных импульсов.

Импульс тока одной полярности возникает при изменении состояния сердечника дешифратора из  $A$  в  $B$ , импульс тока другой полярности возникает при возвращении в исходное состояние  $A$  под влиянием постоянно действующего смещения.

Промежуток времени  $\tau_1$  между отрицательным и положительным импульсами тока  $i_y$  определяется длительностью импульса тока  $i_{y\pm}$ , воздействующего на сердечник дешифратора  $Y$ .

В отличие от дешифратора  $Y$  дешифратор  $X$  должен посылать в избранные линии  $x$  токи  $i_x$ , представляющие собой также два разнополярных импульса, но разнесенные на различные промежутки времени: на  $\tau_1$  - в случае записи "1" в избранном сердечнике платы и на  $\tau_2$  - в случае записи "0". Это осуществляется следующим образом: от формирователей  $\Phi_{xx}$  поступают импульсы тока  $i_{xx}$  продолжительностью  $\tau_2$ , а от формирователей  $\Phi_{xz}$  поступают импульсы тока  $i_{xz}$  продолжительностью либо  $\tau_1$ , либо  $\tau_2$ . Принцип выборки необходимой координаты такой же, как и при выборке координаты  $y$ .

Таким образом, для выборки адреса числа применяется принцип зеркального кода. Такой способ имеет то преимущество, что неизбранные сердечники дешифратора не дают заметных помех в неизбранные координатные линии и, кроме того, мощности формирователей  $\Phi_{yy}$  и  $\Phi_{xx}$  могут быть значительно уменьшены.

Следует заметить, что вместо дешифратора  $Y$ , состоящего из 1248 сердечников и 71 формирователя, можно поставить только 32 сердечника и 32 мощных формирователя, т.к. по всем линиям  $y$  избранного числа подается всегда одна и та же комбинация импульсов тока вне зависимости от записываемого кода.

Экспериментальные исследования проводились на опытном макете. В этом макете имелись: матричная плата из 1024 ферритовых сердечников; 64 ленточных сердечника, составляющих часть общего дешифратора; стенд с источниками импульсов тока. На макете можно было проверять и наблюдать с помощью осциллографа целый ряд процессов

в каком-либо избранном сердечнике: непрерывную запись "1", непрерывную запись "0", попеременную запись "1" и "0", непрерывные воздействия одного из токов  $i_x$  или  $i_y$  и т.д. При этом остальные сердечники устанавливались в различные состояния, в том числе и в самые неблагоприятные с точки зрения помех при считывании.

В формирователях импульсов тока использовались лампы ГУ-50. Динамическое смещение генерировалось с помощью лампы ГУ-29. Продолжительность длинных импульсов тока ( $\tau_2$ ) от формирователей была взята 2,2 мксек, продолжительность коротких импульсов тока ( $\tau_1$ ) - 1,2 мксек. Частота следования этих импульсов бралась от

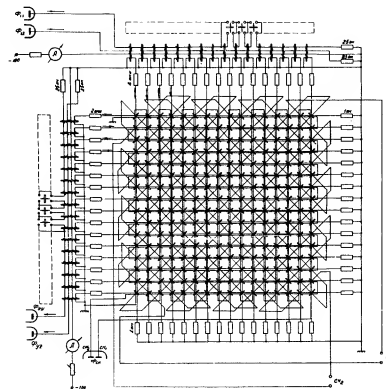


Рис. 4. Полуматричная схема экспериментальной платы запоминающего устройства

100 до 180 кГц, что соответствует продолжительности цикла работы запоминающего устройства от 10 до 5,6 мксек.

На рис.4 приведена схема монтажа экспериментальной платы.

Для облегчения чтения чертежа вместо матрицы 32x32, которая подвергалась исследованию, показана матрица 16x16.

Как видно из рисунка, сердечники устанавливались крестообразно в узлах координатных линий  $x$  и  $y$ . Такой способ установки сердечников удобен для укладки считывающей обмотки, разделенной на 2 части, а также для укладки проводников динамического смещения, так как в последнем случае не требуется обратных проводов при переходе от одной линии сердечников платы к другой.

Для испытания платы потребовалось всего 4 формирователя:

$\Phi_{yy}$ ,  $\Phi_{yz}$ ,  $\Phi_{xx}$ ,  $\Phi_{xz}$ , работающие в условиях, соответствующих реальным.

Для платы запоминающего устройства были использованы ферритовые сердечники марки К-28. Размеры сердечников следующие: наружный диаметр 3 мм, внутренний диаметр 2 мм, толщина 0,6 мм.

Результирующий ток  $I_m = 1,2$  а.

В связи с большим разбросом параметров сердечники предварительно, до установки на плату, отбраковывались. Проверка проводилась в импульсном режиме.

Сердечники, предназначенные для дешифратора, были изготовлены из ленточного материала перминвар. Толщина ленты 10 микрон, ширина 5 мм, число витков 16. Средний диаметр сердечника 7 мм. Числа витков  $N_{xz} = N_{yz} = 24$ ;  $N_{xx} = N_{yy} = 36$ ;  $N_{cm} = 6$ ;  $N_x = N_y = 1$ .

Ферритовые и ленточные сердечники были изготовлены в Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР.

На рис.5 показаны статические характеристики указанных сердечников из феррита марки К-28 и перминвара.

Для сердечников  
из перминвара

$$\left. \begin{aligned} H_K &\approx 0,3 \text{ э} \\ B_{ост} &\approx 15000 \text{ тс} \\ B_{ост}/B_{нас} &\approx 96\% \end{aligned} \right\} \text{ при } \left. \begin{aligned} H_{макс} &= 6 \text{ э} \\ t &= +25^\circ\text{C} \end{aligned} \right\}$$

Для сердечников из  
феррита К-28

$$\left. \begin{aligned} H_K &\approx 1,4 \text{ э} \\ B_{ост} &\approx 2200 \text{ тс} \\ B_{ост}/B_{нас} &\approx 87\% \end{aligned} \right\} \text{ при } \left. \begin{aligned} H_{макс} &= 6 \text{ э} \\ t &= +25^\circ\text{C} \end{aligned} \right\}$$

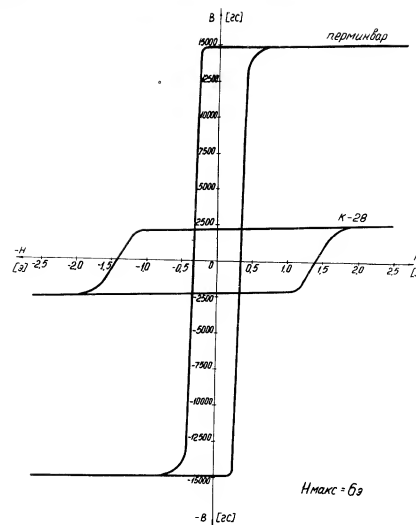


Рис. 5. Статические характеристики сердечников, используемых в макете

На рис.6 приведены кривые зависимости  $H_K$ ,  $B_{ост}$ ,  $B_{ост}/B_{нас}$  в функции температуры окружающей среды для ленточных сердечников из перминвара, а также для прессованных сердечников из феррита марки К-28. Температура окружающей среды изменялась от  $-70$  до  $+150^\circ\text{C}$ . Как видно из этих кривых, ленточные сердечники обладают несравненно лучшей температурной стабильностью характеристик по сравнению с сердечниками из феррита.

Ниже приведены некоторые осциллограммы, характеризующие работу макета запоминающего устройства. Осциллограммы сняты на приборе 25-И и 10-микросекундной ждущей развертке.

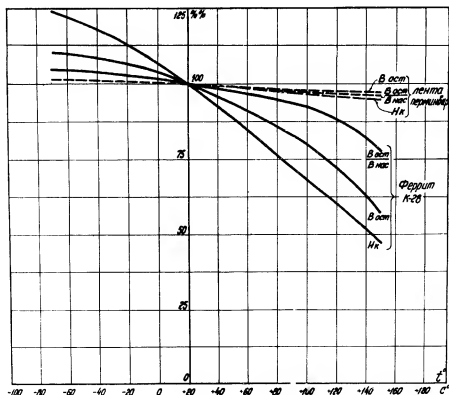


Рис. 6. Кривые  $H_k$ ,  $V_{ост}$ ,  $V_{ост}/V_{нас}$  в функции температуры окружающей среды

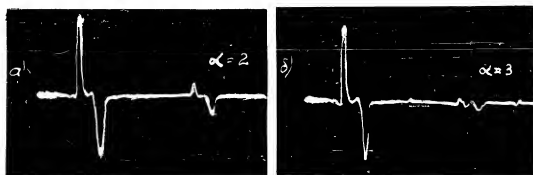


Рис. 7. Осциллограммы выходных сигналов, считываемых с одного сердечника. Длительность развертки 10 мксек

На рис. 7 показаны осциллограммы выходных сигналов, полученных от одного сердечника платы при  $\alpha=2$  (осциллограмма а) и при  $\alpha=3$  (осциллограмма б).

Большие импульсы получены при обращении к данному сердечнику по программе: считывание, запись "1". Импульс с малой амплитудой получен при обращении к соседнему сердечнику по той же программе. Из этих двух осциллограмм видно, как уменьшается ЭДС помехи на считывающем проводе, вызванная одним частично избранным сердечником, при увеличении  $\alpha$  от 2 до 3.

На осциллограммах рис. 8 показаны выходные сигналы при считывании со всей платы при повторении для избранного сердечника процесса: считывание, запись "0", считывание, запись "1". Осциллограмма а относится к случаю  $\alpha=2$  (динамического смещения нет), осциллограмма б - к случаю  $\alpha=3$  (при наличии динамического смещения).

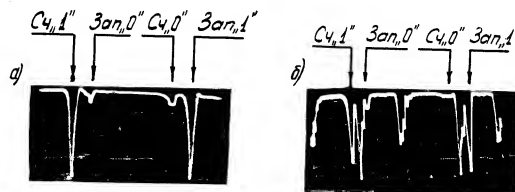


Рис. 8. Осциллограммы выходных сигналов, считываемых со всей платы. Длительность развертки 10 мксек

Как видно из этих осциллограмм, динамическое смещение приводит к почти полному исчезновению паразитного сигнала нуля. Сильные помехи от динамического смещения не мешают считыванию, т.к. возникают в моменты времени, не связанные со считыванием, и могут быть легко отстроированы.

## ВЫВОДЫ

1. Введение динамического смещения уменьшает возможность нежелательного изменения состояния сердечников, т.е. уменьшает вероятность "разрушения" информации. Это повышает надежность работы запоминающего устройства в целом и снижает требования к материалу сердечников матрицы. Динамическое смещение также уменьшает помехи на считывающем проводе в моменты считывания и увеличивает отношение сигнала к помехе.

2. Разделение считывающей обмотки на отдельные части, двухполупроводниковое выпрямление и последующее объединение считанных сигналов приводит к уменьшению помехи и увеличению отношения сигнала к помехе.

3. Использование сердечников из ленточных материалов с прямоугольной петлей гистерезиса в дешифраторах увеличивает надежность работы запоминающего устройства за счет высокой температурной стабильности характеристик этих сердечников.

4. Проведенная работа показала возможность построения запоминающего устройства по рассмотренной схеме с использованием ферритовых сердечников для плат и ленточных сердечников для дешифраторов.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Rajchman J.A., Static Magnetic Matrix Memory and Switching Circuits, RCA Review, 1952, June, pp.183-201.
2. Brown D.R., Elbers-Shoenberg E., Ferrites Speed Digital Computers, Electronics, 1953, April, pp.146-149.

THE ACADEMY OF SCIENCES, U.S.S.R.

D. Panov

CONCERNING THE PROBLEM OF MACHINE TRANSLATION  
OF LANGUAGES

1956.



## CONCERNING THE PROBLEM OF MACHINE TRANSLATION OF LANGUAGES

D. Panov

### 1. Introduction

Strictly speaking, my paper is not concerned with problems of the theory of information in its classical form, I mean the form it has adopted in the works of C. E. Shannon, Ph. M. Woodward, I. L. Davies and others, which problem have also been studied by the Soviet mathematicians Kolmogorov, Khinchin, Kotelnikov and Siforov.

The problem of machine translation of languages belongs, in my opinion, among certain specific problems, which until now have not been taken up by learned men working in the field of the theory of information, but which, possibly, deserve to be taken up.

Up to now, the theory of information has developed as a purely mathematical theory, applying the means of the calculus of probability to formalise the original material it has dealt with. Claude E. Shannon does not make any distinction between discrete sources of information and stochastic process (1, p. 10), thus ignoring all the individual qualities of the information given, preserving only its statistic characteristics. In speaking of telegraph messages, Shannon points out that these messages consist of letter sequences which are "not completely random" and which, "in general form sentences and have the statistical structure of, say, English". ~~He goes on~~ to say that "this structure allows one to make a saving in time (or channel capacity) by properly encoding the message sequences into signal sequences" (1, p. 10).

The successful application of statistical methods in cryptography naturally led some investigators to the idea that a similar approach could be as promising in solving problems of automatic translating. Thus Weaver thought it most tempting to say that "a book written in Chinese is simply a book written in English, which was coded into the "Chinese code" (2, p. 22), and to translate from one language into another one needs "to descend from

each language to the common base of human communication-the real but as yet undiscovered universal language- and then re-emerge by whatever particular route is convenient" to the other individual language (2, p.23). This idea being developed, one very naturally comes to the necessity of analysing the logical structure of language as a means of solving the problem of automatic translation. Investigations in this field undertaken by O. Jespersen (4), Ch. C. Fries (3), and others seemed to be providing mathematicians with material highly promising. Should it be achieved, the problem of automatic translation would join as equal those profound problems united under the name of theory of information. Unfortunately, so it seems to me, we must refrain from this tempting road. The very nature of the problem of translation is such that individual features of the translated text cannot quite be ignored. This circumstance makes the direct application of the methods of the theory of information impossible, but it does afford certain other advantageous prospects. I believe here we are faced with a problem which, though statistical in character, requires special methods of analysis, similar to the experimental methods used in the study of natural phenomena. I shall note that it is just the problems, at the borderline of two branches of science, that often prove to be most helpful in scientific research work.

## 2. Some Peculiarities of Machine Translation.

I should like to give a few examples to illustrate the necessity of considering individual lexical peculiarities in translating. Investigation of linguistic structures can be of interest in many ways, but from the point of view of translation it aims, and here I am convinced, at secondary questions and, thus, leads away from the solution of our problem. The reason is that in taking to generalised structures, one can not but lose a number of peculiarities of the text which are of vital importance for the translation. Mathematically there does not exist a one-to-one correspondence between the sentence structures in different languages. Two English sentences of the same structure, when correctly translated into Russian may produce two Russian sentences of structures entirely different. (See Fig. 1). It is as easy to give sentences which are impossible to

translate correctly without knowing the context. In figure 2 a stanza from a poem by Swinburne is given. The pronoun "mine" in the last sentence of the stanza, can not be correctly translated into Russian without referring to the preceding sentence, while in the English text it presents no ambiguity. Some other examples are given by Charles Fries in his book, "The Structure of English". While analyzing possible meanings of the phrase, "The King of England's empire" (3, p.285) he comes to the conclusion that the structural grouping here is ambiguous. The meaning of the phrase can be determined only by some supplementary means (and Fries suggests intonation for one). Thus it becomes evident that in many cases, a structural analysis is useless, and other means must be utilized to determine the meaning. The authors of the structural methods in linguistics are well aware of the shortcomings of their system. Thus, Fries writes in the book just mentioned:

"In this book I have challenged the traditional uses of meaning as the tool of analysis in dealing with sentence structure".

". . . I have, not, however, repudiated "all uses of meaning" in linguistic analysis, and I have deliberately insisted that all substitution procedures demand for their use the control of certain aspects of meaning". (3, pp. 293-294).

Our idea is that both lexical meaning and grammatical characteristics of the word can and should be considered in translating languages. It is highly impractical to decline the information which can be thus obtained. We find in "Analytic Syntax" by Jespersen (4, p.105) the following admission: "However much we may try to speak of pure syntax as apart from morphology (accidence) considerations of form will necessarily force themselves on us here and there". Precisely for this reason, in analysing the structure, recourse must be made to quite complex systems of supplementary elements introduced into the structural systems which finally lead to the classical morphological analysis.

The consideration of the lexical meaning of words as well as of their context may be useful in solving problems of coding. These problems are extremely important and I shall later return to them. Here I should only like to note that under certain conditions, great economy can be achieved in coding. There is a popular game for children in my country, which consists

in guessing a word, of which only three data are given: its first and its last letters, and the number of letters between these two. The guesser is allowed a certain number of attempts for suggesting any letter he likes; if any of them belong to the word, they are entered in their place. To win the game one must guess the whole of the word. I wonder whether children play this game in your country, but in any case it is quite instructive in solving code problems. It proves that under certain conditions, very few attempts are needed to guess a word. And with lexical meaning of the word taken into consideration the economy in coding still increases; take crossword puzzles as an illustration. I should like to note that codes of this type can be easily used for a dictionary stored in the computer. As it seems, it would not take too long to get the computer accustomed to solving crossword puzzles.

### 3. Machine Translation from English into Russian at the USSR Academy of Sciences.

Having started work in machine translating, we very soon came to the conclusion that it should be organized on lines different from those described in the reports on American experiments. In our opinion, excessive contact between the translation programme and the dictionary ascription of the control codes directly to the words in the dictionary cannot but limit the possibilities of translation making the solution of the problem extremely complicated. Therefore, we made it our point to work out basic principles of machine translation before starting. Our five basic principles are the following:

1. Maximum separation of the dictionary from the translation programme. This enables us easily to enlarge the dictionary without changing the programme.
2. Division of the translation programme into two independent parts: analysis in the foreign language sentence, and synthesis of the corresponding Russian sentence. This enables us to utilize the same Russian synthesis programme in translation from any languages.
3. Storing all the words in the dictionary in their basic form. This enables us to make use of the standard Russian grammar in the synthesis of Russian words.
4. Storing in the dictionary a set of invariant grammatical characteristics of the word.

5. Determination of multiple meaning of the words from the context whereas their variant grammatical characteristics are defined by analyzing the grammatical structure of the sentence.

These principles have proved quite reliable in the practical test they were put to, and hence they must be considered as basic in the solution of the problem.

I shall describe here our dictionary and translation programme worked out for machine translating from English into Russian.

Our dictionary for machine translation consists of two sections.

The first section contains English words, coded into digit combinations. Here we have also dictionary information of the corresponding Russian words, together with their number in the Russian Section of the dictionary. Thus, for nouns the following information is given: gender, declension, soft or hard stem, presence or absence of sibilants in the stem, animate or inanimate object expressed, etc.; verbs are given information concerning conjugation, aspect, etc.; in the case of adjectives the only information given is soft or hard stem. We call this section of the dictionary the English Section.

The other section does not contain anything but Russian words coded into digit combinations. The second section is called the Russian section of the dictionary. Every English word in the dictionary is provided with a certain ordinal number, that is with a special place- in- the-vocabulary indication. This compilation came as a result of linguistic analysis of mathematical texts, starting with Milne's "Numerical Solution of Differential Equations". For the practical experiments in MT carried out on BESM (the USSR Academy of Sciences high-speed electronic computer) a dictionary of 952 English and 1,073 Russian words was compiled.

For a number of English words (121 words, in our case), the place-in-the-vocabulary indication is replaced by special digit indication to show that these words have multiple meaning. The proper Russian word is chosen in this case by utilizing a special programme of automatic translation, which we call the Polysemantic Dictionary"

If the spelling of the word in the text coincides exactly with that of a word in the dictionary (or rather their numerical codes coincide), it can easily be identified by the operation of matching. This is the principle used for

finding words in the dictionary.

In case the word in the text is inflected, i.e. has some grammar affix (say, "s", or, "ing", or, "ed"), a special programme for discarding these affixes is used. Then the search of the word with the discarded affix should be repeated.

To determine multiple meaning context analysis is performed which consists in analysing the surrounding words when both their meaning and grammatical characteristics are taken into consideration. The routine for determining the multiple meaning of a word has emerged from elaborate analysis of a great number of English texts.

It is the Polysemantic Dictionary that deals with idioms. A "key word" is found in every idiomatic expression and marked in the dictionary "polysemantic". This brings about checking of the words preceding and following it for participating in the idiom. If the answer is "yes", the translation is given to the idiomatic expression as a whole.

Take for instance, the English word "able" which is ordinarily translated into Russian as the adjective "способный" (capable), but when linked with any form of the verb "to be" (is, are, was, were, been, being) it can no longer be translated separately, instead it affects the translation of the verb, and the two of them acquire as their Russian equivalent the verb "мочь" (can). Therefore, before giving the translation "способный" for the word "able", the preceding word should be checked up for "is", "are", etc. If the answer is "yes", the correct translation for the whole word combination is "мочь". It should be noted that the system of the most simple and general criterions for determining the multiple meaning of a word (or a group of words) has required a lot of preliminary research work on the part of our linguists.

If a word in the English sentence is not found in the dictionary, it is stored unaltered in the memory of the machine. When the translated sentence is put out, such a word will be printed in Latin script.

A study for the design of an automatic dictionary presents special interest. In our group it has been carried out by L. N. Korolyov. Here are some of his results.

For the speed of the entire translating process the time spent in dictionary search is decisive. Therefore, much attention must be given to questions of speeding up this part of the programme. One of the quickest ways of finding words proved to be the following. The codes of the English words in the dictionary are arranged in the increasing order. Thus, by comparing the code of the word sought with that of a word taken at random from the dictionary, we can easily see whether to go on with our search in the section preceding or following our word. The method of search just described resembles very much that of finding roots of an equation by the "supposed conditions" method. It is remarkable that only 14 check-ups are required ( $14 \approx \lg_2 10,000$ ) to find a word in a 10,000-word dictionary by this method, and in a 30,000-word dictionary, no more than 15 check-ups are necessary.

Another problem that has been studied by L. N. Korolyov is that of saving the memory space required for storing the dictionary. The "code compressing" method has been worked out for the purpose.

The operation of compressing the codes to value  $a$  makes any code  $\leq a$ .

Let the codes be represented by some combinations of binary digits i.e., of certain combinations of 0 and 1.

Here are a few examples of the operation  $\nabla a$ , "compressing the code to value  $a$ ".

1°. Discard the code positions, the ordinal number of which is greater than  $a$ .

2°. If the length of a code being compressed is greater than  $a$ , divide it into sections so that the lengths of each section be less than  $a$ .

This is followed by the binary arithmetic addition of the sections. Division into sections is correct when the code for the sum of these sections  $\leq a$  in length.

3°. Here too, long codes are divided into sections but instead of binary arithmetic addition positional addition is used ( $1+1=0$ ,  $0+1=1$ ,  $1+0=1$ ,  $0+0=0$ ) in order to obtain the compressed code.

Codes for all the words in the dictionary are divided into several groups depending on the number of letters the word consists of. The operation of compressing  $\nabla a$  is performed for each of these codes. The words in the text undergo the same "code compressing" operation  $\nabla a$  before they are sought

in the dictionary. Thus matching is fulfilled for the "compressed code". Although the "code compressing" operation may result in having similar codes for two or more different words in the dictionary, the probability of the case has proved exceedingly small<sup>\*)</sup>.

Should it happen, however the codes of these words as, indeed, of all the words of that group will be compressed in a different manner, say with a shift by one position. The corresponding group of words in the text will be treated in a similar way before being matched in the dictionary.

The significance of this method lies not only in the fact that it provides considerable storage economy but in that it enables us to simplify the search routines as well as to speed up the whole translating procedure.

The word being found in the dictionary, all the information concerning this word, including its place-in the vocabulary indications both in the English and in the Russian sections, and grammatical information as well, is taken from the dictionary to form the numerical equivalent of the word. All subsequent operations are performed with these numerical equivalents. Every numerical equivalent is stored in two cells of the memory, the grammatical indications having constant positions. Thus necessary information of the word can be acquired automatically.

The value of the equivalents is not limited to the fact that they contain necessary information about words. The replacing of words by their numerical equivalents makes grammar part of the programme universal in application, since it no longer depends on concrete texts or dictionary.

The automatic translation programme concerned with grammar is divided into two main parts, these being Analysis and Synthesis.

In the first part the form of the English words, their place in the sentence, as well as their dictionary grammatical information are taken

\*)

For a  $2^{10}$  - word dictionary, when the codes are compressed to 30 binary positions by means of the operation  $\nabla a$  as described in 3<sup>o</sup>, this probability is about 0.0005.

into consideration with a view to determination of both grammatical form of the corresponding Russian words and their place in the Russian sentence. The resulting information is recorded in the numerical equivalent of the word, thus permitting to pass on to the second part of the programme, that is "Synthesis of the Russian sentence". Here, Russian words, taken from the dictionary in their basic form, acquire grammatical form in accordance with the characteristics resulting from the analysis.

Both English and Russian Grammar is presented as a series of special schemes for the following parts of speech: verbs, nouns, adjectives, numerals. These are supplied with two more schemes, one dealing with syntactical analysis of the sentence, the other changing word-order in the Russian sentence if necessary. The working basis of each scheme is dichotomic analysis, i.e., a system of "checking up" for the presence or absence of a certain grammatical (morphological or syntactical) characteristics of the analysed word. These alternative check-ups may result in only two answers, either positive or negative, which mean either a final conclusion and development of a certain grammar indication in the numerical equivalent of the word, or passing on to the next check-up until the necessary grammatical characteristics of the word is completed.

Different parts of the programme are applied in a sequence which can ensure the development of the indications necessary to carry out further operations.

Figures 3 and 4 present part of the schemes for the Polysemantic Dictionary and for the English Noun. The following symbols are accepted in the schemes: A/B, C/ means passing on to No. B in the case of the positive answer, whereas negative answer will result in passing on to No. C. Obviously A/B, B/ means passing on to No. B in both cases (that is without special checking-up) A/0, 0/ means that the final result is acquired and no further search is necessary. In the Polysemantic Dictionary scheme both figures and letters are used as symbols, whereas in the other schemes only figures are utilized.

S. N. Razumovsky has been studying the logical structure of the schemes and programmes for machine translation. He has developed a system of symbols to fix the contents of the schemes in a unifying manner. In Figure 5 the English Noun Analysis scheme is present in the symbolized form. The symbol system

of S. N. Razumovsky allows a unified recording of the formation processes, thus permitting an automatic compilation of the machine translation programme. Figure 6 presents part of the information used to automatically compile a programme of analysis for an English noun.

The Russian Synthesis programme is fully independent of the foreign language Analysis. The form of the Russian word is determined by the grammar characteristics found in the dictionary together with those developed in the English Analysis part of the programme. Hence, the Russian Synthesis part of the programme depends on Russian Section of the dictionary. Russian schemes may vary in form depending on the role relegated to the dictionary. It has been mentioned, that in our dictionary words are kept in their basic form, i. e., nominative singular for nouns, nominative singular masculine for adjectives, infinitive for verbs, etc. The primary concern of the Russian Synthesis programme is to modify the endings of the dictionary words, with necessary provision for the interchange of vowels and consonants, when required.

The main difference between the Russian Synthesis programme and the Analysis programme (English Analysis in this case) lies in the fact that separate words and their characteristics in the former programme are considered with no reference whatsoever to the neighbouring words.

Figure 7 presents part of the Russian Verb Synthesis scheme.

In Figure 8 principle steps in the machine translating of an English sentence are given. The sentence: "The cause of this phenomenon will be considered in the following articles", goes to the operative memory in coded form, as a 146 digit number:

2128080022162005080021140021261205002426  
0815288110815281500131227270006080022281505  
12300807083000121500212808001428272628  
13121510001607211222270805

With every two digits coded in the binary system.

Then the sentence is broken up into words and the words are sought in the dictionary.

For only five words of this sentence, we can find in the dictionary the corresponding Russian words, with its grammar characteristics attached.

These words are:

1. phenomenon - явление (noun, neutral gender, first declension, soft stem)
2. consider - рассматривать (verb, first conjugation, imperfect aspect, takes the accusative case)
3. article - статья (noun, feminine gender, second declension, soft stem)
4. will - is not translated (modal verb; predicate)
5. be - быть (verb, first conjugation, perfect aspect)

Note that the machine could find the words "consider" and "article" only after it had discarded the endings "s" in "articles" and "ed" in "considered"

For the rest of the words the indication is given in the dictionary that they have multiple meaning, which means that a special analysis of the sentence is required in order to choose the correct meaning of the word.

The English word "in", most often translated as the preposition "в", may be translated in certain word combinations in a different way, say, preposition "к" interest in (интерес к) or "с", or "при" and so on. In our sentence context analysis shows that "in" should be translated as preposition "в".

All the dictionary information (the information taken from the Polysemantic Dictionary included) is recorded in the form of numerical equivalents of the words of the sentence. The Russian place-in-the-vocabulary indications of the equivalents furnish the following list of Russian words:

причина	этот	явление	быть	рассматривать
(cause)	(this)	(phenomenon)	(be)	(consider)
		в	следовать	статья
		(in)	(follow)	(article)

One can easily note that several words in the English sentence have not been translated into Russian (the, of, will), this being recorded as "omit"-indication in their equivalents.

The grammatical analysis programme supplements the originally received

from the dictionary equivalents by a series of characteristics required later for the Russian Synthesis programme. Thus, for the word "article", the English Analysis programme furnishes the following additional characteristics: plural (since the word in the text has the "s" ending), and prepositional case (since preposition "in" precedes the word). Together with characteristics obtained from the dictionary, programme characteristics furnish sufficient information for the Russian noun Synthesis programme to produce the correct ending of the word "статья" (article).

For the word "follow", the English Verb programme develops the following characteristics: present participle ("ing" having been discarded), plural, prepositional case, (the two latter characteristics being inferred from the noun following our participle).

Finally, the Russian Synthesis programme having been fulfilled, we get a Russian sentence, which is correct both semantically and grammatically. Here is the sentence:

"Причина этого явления будет рассмотрена в следующих статьях".

I should like to emphasize the fact that from the very input of the English sentence into machine, the entire translation process has been carried out automatically with no human intervention whatsoever. Enormous preliminary research work is required of philologists to make the machine translate in the manner just described. In our group the linguistic research work has been carried out by L. K. Belskaya, our Philologist-in-Chief, while the mathematical part of research has been done by the mathematicians I. S. Mukhin, L. N. Korolyov, S. N. Razumovsky, G. P. Zelenkevich, and partly by N. P. Trifonov.

In Figures 9 and 10 you can see sentences translated by machine from English into Russian. In Figures 11 and 12 a few illustrations are given of incorrect translations, with mistakes due to errors in the coding. The tapes shown in these photographs have actually been produced by the machine.

#### 4. Further Studies in the Field of MT

Our opinion is that principally, the lines of which machine translation of languages should be organized, have been sufficiently developed by now and the time has come to consider the opportunities for practical work in this

field on a larger scale. With this view, we have started research work in automatic translation from German, Chinese, and Japanese into Russian. In Figure 13 part of the German noun scheme is shown, in Figure 14 you can see part of the Chinese numeral, and in figure 15 part of scheme analysing Japanese verbs. These are our recent achievements.

When taking up machine translation from Chinese and Japanese we had our doubts as to the problem of input in these languages. We have come to the conclusion by now, that Chinese telegraph code (Figs. 16 and 17) may perfectly solve the problem.

The group of linguists engaged in further studies in MT includes I. K. Belskaya, G. P. Zelenkevich, E. A. Khodzinskaya (German studies) A. A. Zvonov, V. A. Voronin (Chinese studies) and M. B. Yefimov (Japanese studies).

We intend soon to take up the problem of multilingual machine translation with foreign languages both at the input and output, while Russian serves as interlanguage into which the input is first translated. The choice of Russian interlanguage in our case proves highly practical. It is worth noticing that the method we have suggested is of great help in solving the problem of multilingual MT. The diagram in Fig. 18 illustrates the translation of an English sentence E into the corresponding Russian R. Letter V stands for Vocabulary, letter A stands for Analysis part of the programme; ER stand for "English-into-Russian". Letter S stands for Synthesis programme. VA symbolizes that both Vocabulary and Analysis part of work is over. It is evident that when so much as VA is accomplished, we are fully provided with Russian equivalents, with all their grammatical characteristics attached. Thus we can easily pass on to, say, a Russian-French dictionary, and get the corresponding French equivalents with their necessary grammatical characteristics. Thus using only the French Synthesis programme we can obtain a French sentence automatically translated from English.

We do not make any secret of our work, and last summer, when a group of American engineers were visiting our Institute, we mentioned our experiments in automatic translation carried out on BESM. We made a statement concerning our first achievements at the Conference on Computing Techniques in Moscow and at the two international conferences in London and Brussels. Certain

information on our first results was given in our first publications (5, 6, 7, 8). Nevertheless, the French journal "TSF Phono-Ciné-Electricité" (1956, no. 730, p. 6) published not very long ago an article bearing the title "Pour percer le secret du cerveau électronique russe". I believe, it is clear from what was told above that we have no special "secret". We have found a method of solving the problem by combining mathematical approach with very concrete linguistic analysis, thus not going too far into formal methods of investigation. I shall conclude with a statement made by Jespersen, in his "Analytic Syntax" (4, pp. 13-14):

"The symbols here introduced to some extent resemble the wonderful system of symbols which during the last few centuries has contributed so much to make mathematics (and in some degree logic) exact and more easy to manage than was possible with the unwieldy word-descriptions used formerly. My system aims at providing linguists with some of the same advantages. But it cannot pretend to the same degree of universality as either the chemical or mathematical symbols. That is precluded simply because of the fact, which it is no use shirking, that language is everywhere socially conditioned and there is no getting away from that".

<p><u>ТОЖДЕСТВЕННЫЕ РУССКИЕ СТРУКТУРЫ</u></p>	<p><u>РАЗЛИЧНЫЕ АНГЛИЙСКИЕ СТРУКТУРЫ</u></p>
<p>У нас есть черный кот.</p>	<p>We have a black cat.</p>
<p>У нас есть собственный дом.</p>	<p>We have a house of our own.</p>
<p><u>ТОЖДЕСТВЕННЫЕ АНГЛИЙСКИЕ СТРУКТУРЫ</u></p>	<p><u>РАЗЛИЧНЫЕ РУССКИЕ СТРУКТУРЫ</u></p>
<p>He should knock at the door before coming in.</p>	<p>Следовало бы ему постучать в дверь, прежде чем войти.</p>
<p>He would knock at the door before coming in.</p>	<p>Он бы встал постучит в дверь, прежде чем войти.</p>

Fig. 1



Can I forget? yea, that can I,  
 And that can all men; so will you,  
 Alive, or later, when you die,  
 Ah, but the love you plead was true?  
 Was mine not too?

Fig. 2

СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ (Английская часть)

- 1(2,7) Проверить данное слово на us.
- 2(3,5) Проверить следующее слово на существительное.
- 3(0,0) Выработать признак дательного падежа.
- 5(6,13) Проверить предыдущее (непосредственно) слово на let.
- 6(0,0) Выработать именительный падеж.
- 7(8,13) Проверить данное слово на it.
- 8(13,10) Проверить it на наличие признака какого-либо рода.
- 10(0,0) Взять род от ближайшего предшествующего подлежащего.
- 13(14,15) Проверка на наличие признака единственного или множественного числа.
- 14(0,21) Проверка на наличие признака любого падежа
- 15(16,19) Проверка на окончание - S.
- 16(17,17) Выработка признака множественного числа.
- 17(18,14) Проверка предыдущего слова на формулу без = .
- 18(0,0) Выработка признака родительного падежа.
- 19(16,20) Проверка предыдущего слова на much (\*).
- 20(14,14) Выработка признака единственного числа.
- 21(22,23) Проверить предыдущее слово на let.
- 22(0,0) Выработка признака именительного падежа и подлежащего.
- 23(24,28) Проверить предыдущее слово на признак "союз однородный".
- 24(28,25) Проверить непосредственно предшествующее и следующее (относительно союза однородного) слово на прилагательное.
- 25(26,27) Проверить все слова на то же слово, что и данное.
- 26(0,0) Взять падеж от найденного существительного.
- 27(0,0) Взять падеж от ближайшего предшествующего существительного.
- 28(18,29) Проверка на окончание 'S.

Fig. 3

<u>61</u> (a, 62)	<u>look</u>
a(b, c,)	Проверить следующее слово (или ближайший следующий предлог) на for (+).
b(0, 0)	ИСКАТЬ (глагол, I спряжение, несовершенный вид + винительный падеж).
c(dd, e)	Проверить следующее слово (непосредственно) на upon.
d(0, 0)	СМОТРЕТЬ (глагол, II спряжение, несовершенный вид).
e(0, 0)	РАССМАТРИВАТЬ (глагол, I спряжение, несовершенный вид + винительный падеж). Вставить после него (непосредственно) КАК (частица).
<u>62</u> (a, 63)	<u>many, much</u>
a(b, c)	Проверить предыдущее слово (непосредственно) на how.
b(0, 0)	СКОЛЬКО (числительное, не склоняется).
c(d, e)	Проверить предыдущее слово (непосредственно) на as.
d(0, 0)	СТОЛЬКО ЖЕ (числительное склоняется).
e(g, i)	Проверить данное слово на much.
f(0, 0)	Чем переходит (наречие).
g(f, k)	Проверить предыдущее слово (непосредственно) на very.
h(0, 0)	МНОГИЙ (прилагательное, твердая основа, с шипящим).
i(h, l)	Проверить предыдущее слово на предлог и следующее на существительное.
j(0, 0)	МНОГО (наречие).
k(l, j)	Проверить следующее слово на существительное.
l(0, 0)	МНОГО (числительное, склоняется).

Fig. 4

0*	$[k = 0; 0]$
0	$\{\alpha[k+1](a_{1,k} = 1) 1; (a_{2,k} = N_{\text{точки}}) B; \alpha\}$
1	$\{(a_{2,k} = N_{us}) 2; 7\}$
2	$\{(a_{1,k+1} = 1) 3; 5\}$
3	$[b_{1,k} = 3; 0]$
5	$\{(a_{1,k-1} = N_{\text{let}}) 6; 13\}$
6	$[b_{1,k} = 1; 0]$
7	$\{(a_{2,k} = N_{it}) 8; 12\}$
8	$\{(a_{6,k} = 0) 10; 0\}$
10	$\{[i=k] \alpha[i-1] \{(a_{4,i} = 1) \beta; \alpha\} \beta[a_{6,k} = a_{6,i}]\}$

Fig. 5

№ Ю	011	63.15	33.0	19.0
1	212	0.0	46.0	0.0
2	101	34.0	0.0	37.0
3	011	63.14	35.0	19.0
4	121	44.0	0.1	36.0
5	113	39.0	16.1	16.0
6	121	41.0	0.1	40.0
7	211	0.1	46.0	39.0
8	131	16.2	16.0	41.0
9	211	0.1	40.0	49.0
10	121	46.0	63.14	38.0
11	011	0.1	37.0	39.0
12	131	16.2	16.0	41.0
13	212	10.13	40.0	0.2
14	121	46.0	0.7	38.0
15	011	0.2	37.0	39.0
16	131	16.1	17.0	41.0
17	212	0.1	40.0	0.3
18	121	46.0	0.5	38.0
19	011	0.3	33.0	6.1
20	321	16.0	0.3	46.0
21	210	0.0	34.0	0.5
22	111	37.0	39.0	16.2
23	322	29.0	41.0	27.6
24	121	40.0	0.6	46.0
25	210	0.13	38.0	0.6
26	113	33.0	6.1	16.0
27	212	0.1	46.0	0.0
28	101	34.0	0.7	37.0
29	113	39.0	16.2	16.0
30	121	41.0	8.9	40.0
31	212	0.8	46.0	0.13
32	1	38.0		

Fig. 6

115(116,120)	Проверка на наличие признака "множественное число".
116(117,118)	Проверка на наличие признака "1 лицо".
117(0,0)	Добавить окончание -ЕМ.
118(0,0)	Добавить окончание -УТ.
119(115,115)	Взять данное слово без изменения из словаря, но перед ним поставить другое слово: БУД - с окончанием, найденным по схеме.
120(0,0)	Добавить (к БУД-) окончание -ЕТ.
122(123,124)	Проверка на слово ИСПРАВИТЬ.
123(0,0)	Отбросить три последние буквы и вместо них добавить к оставшейся части -ЬТЕ.
124(125,126)	Проверка на слово ПОКАЗЫВАТЬ.
125(0,0)	Отбросить последние шесть букв, затем к оставшейся части добавить окончание - ЖИТЕ.
126(0,0)	Добавить к оставшейся части слова окончание - ИТЕ.
128(129,130)	Проверка на слово ВЫЧИСЛЯТЬ.
129(157,157)	Перевод: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ. Выработка признака "твердая основа".
130(131,132)	Проверка на слово ИТТИ.
131(157,157)	Перевод: ПРОИСХОДЯЩИЙ. Выработка признаков "мягкая основа с шипящим".
132(133,134)	Проверка на слово ПРЕДШЕСТВОВАТЬ.
133(157,157)	Перевод: ПРЕДЫДУЩИЙ. Выработка признаков "мягкая основа с шипящим".
134(135,136)	Проверка на слово УДИВИТЬ.
135(157,157)	Перевод: УДИВИТЕЛЬНЫЙ. Выработка признака "твердая основа".
136(137,138)	Проверка на слово ОТЛИЧАТЬСЯ.
137(157,157)	Перевод: "различный". Выработка признака "твердая основа".

Fig. 7

«The cause of this phenomenon will be considered in the following articles».

Б У К В Ы  
2126080022162005080028140021261205002426  
08152811081528150013122727006080022281505  
12300807083000121500212608001428272728  
13121510001607211222270805

причина этот явление  
рассматривать в следовать

быть (признаки)  
статья  
АНАЛИЗ

ЦИФРЫ  
СИНТЕЗ

Причина этого явления будет рассмотрена в следующих статьях.

Fig. 8

Это было основано на дорогом эксперименте, проведенном мной и доктором R. H. Richens, от Кембриджского Университета, в котором мы разработали метод перевода малых отрывков выбранного текста на иностранные языки. Мы дали отчет о этом на конференции в Massachusetts в 1952, после которого I.B.M. компания в сотрудничестве с Джорджтаунским Университетом применили наши методы чтобы дать наглядную демонстрацию, которая была ограничена переводом нескольких предложений с русского на английский. Не имеется возможности в настоящее время перевода книги как произведения искусства.

This was based on an expensive experiment done by myself and Dr. R. H. Richens, of Cambridge University, in which we worked out a method of translating small sections of selected text in foreign languages. We gave an account of this at a conference in Massachusetts in 1952, after which the International Business Machines Company, in conjunction with Georgetown University, applied our methods to give a popular demonstration which was limited to translating a few sentences from Russian into English. There is no possibility at present of translating a book as a work of art.

Fig. 9

Equations involving more than one independent variable and the partial derivatives of the dependent variables with respect to the independent variables are called partial differential equations.

Suppose that both equations actually contain all the possible partial derivatives of second order.

It is necessary to find values between which the function  $f(x)$  is zero.

There are various numerical methods for this purpose.

Fig. 10

Уравнения, содержащие более чем одну независимую переменную и частные производные зависимых переменных относительно независимых переменных называются дифференциальными уравнениями в частных производных.

Допустим, что оба уравнения действительно содержат все возможные частные производные второго порядка.

Необходимо найти значения, между которыми функция  $f(x)$  есть нуль.

Имеются разные численные методы для этой цели.

THIS IS TRUE CERTAINLY OF THE VAST CATEGORY OF PROBLEMS

ASSOCIATED WITH FORCE AND MOTION.

ЭТО ВЕРНО \* КОНЕЧНО ДЛЯ ОБШИРНОЙ КАТЕГОРИИ ЗАДАЧ СВЯЗАННЫХ С

СИЛОЙ И ДВИЖЕНИЕМ.

Fig. 11

SO THAT WHETHER WE WANT TO KNOW THE FUTURE PATH OF

JUPITER IN THE HEAVENS OR THE PATH OF AN ELECTRON IN AN

ELECTRON MICROSCOPE WE RESORT TO DIFFERENTIAL EQUATIONS.

ТАК ЧТО ХОЧЕМ ЛИ МЫ ЗНАТЬ БУДУЩАЯ ПУТЬ ЯПИТЕРА В

НЕБЕСАХ ИЛИ ПУТЬ ЭЛЕКТРОНА В ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ МЫ ПРИБЕГАЕМ К

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ.

Fig. 12

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ

- |           |   |
|-----------|---|
| 5(6,11)   | Проверить предшествующее слово на неопределенный артикль.   |
| 6(0,0)    | Выработать признак "единственное число".  |
| 7(38,19)  | Проверить данное существительное на признак "местоименное".   |
| 11(12,13) | Проверить на наличие числительного перед данным существительным.  |
| 12(38,20) | Проверить найденное числительное на zwei, drei, vier, beide.  |
| 13(14,15) | Проверить на наличие перед данным словом определенного артикля.   |
| 14(6,18)  | Проверить найденный артикль на das, des, dem.   |
| 15(16,17) | Проверить предшествующее существительное на признаки "местоименное" и склоняется, как прилагательное.         |
| 16(17,17) | Дальнейшая проверка одинаково распространяется на оба существительные: данное и найденное.                    |
| 17(6,38)  | Проверить на окончание (e)m или (e)s у данного (или найденного) существительного.                             |
| 18(6,38)  | Проверить наше существительное на окончание e и найденный артикль на der.                                     |
| 19(6,21)  | Проверить на наличие перед данным существительным одного из слов: ein, am, im, beim, vom, aufs, durchs, fürs. |
| 20(0,0)   | Выработать признак "множественное число".   |

Fig. 13

## КИТАЙСКИЙ ЯЗЫК

## ЧИСЛИТЕЛЬНОЕ

- 23(24,25) Проверить данное числительное на наличие перед ним форманта 第
- 24(0,0) Переводится порядковым числительным, которое анализируется по схеме "прилагательное".
- 25(26,33) Проверить данное числительное на наличие после него суффиксов единичности:  
個(个), 本, 把(把), 篇, 隻, 枝, 張, 座, 堡(堡), 所, 根, 棵, 場, 次, 件, 陣, 方, 架, 枝, 名, 位, 盆, 台, 首, 頭, 畫, 放, 家, 眼, 局, 部, 門, 套, 服, 件, 匹.
- 26(27,29) Проверить данное числительное на — (один).
- 27(28,30) Проверить предыдущее слово на указательное местоимение: 這(这) 那, и определительное местоимение 每.
- 28(0,0) Числительное — (один) не переводится?
- 29(0,0) Переводится количественным числительным, которое анализируется по схеме "существительное".
- 30(28,31) Проверить предыдущее слово на притяжательное местоимение  
我, 我們, 我的, 我們的, 他, 他們, 他的, 他們的, 她, 她們, 她的, 她們的, 你, 你們, 你的, 你們的, 他, 他的, 他的, 他的, 它, 它們, 它的, 它們的.
- 31(28,32) Проверить предыдущее слово на признак прилагательное.

Fig. 14

## ЯПОНСКИЙ ЯЗЫК

## ГЛАГОЛ

- 11(12,13) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る" или 以"る" или  
以"る" или 以"る" или 以"る" или  
以"る" или 以"る"
- 12(24,24) Выработать признаки страдательного залога и изъявительного наклонения и перейти к определению времени по схеме.
- 13(14,15) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る" или 以"る" или  
以"る" или 以"る" или 以"る" или  
以"る" или 以"る"
- 14(25,25) Выработать признаки страдательного залога и произвести дальнейшую проверку.
- 15(16,17) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る" или 以"る" или 以"る"
- 16(24,24) Вставить глагол МОЧЬ, выработать признаки неопределенной формы для нашего глагола и перейти к определению времени по схеме.
- 17(18,19) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る" или 以"る" или 以"る"
- 18(25,25) Вставить глагол МОЧЬ, выработать признаки инфинитива для нашего глагола и произвести дальнейшую проверку.
- 19(20,21) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る"
- 20(24,24) Вставить глагол ДАТЬ, выработать признаки инфинитива для нашего глагола и перейти к определению времени по схеме.
- 21(22,23) Проверить данный глагол на наличие окончаний  
以"る" или 以"る"
- 22(25,25) Вставить глагол ДАТЬ, выработать признаки инфинитива для нашего глагола и произвести дальнейшую проверку.
- 23(24,24) Выработать признаки действительного залога изъявительного наклонения и перейти к определению времени по схеме.

Fig. 15

25X1

**Page Denied**



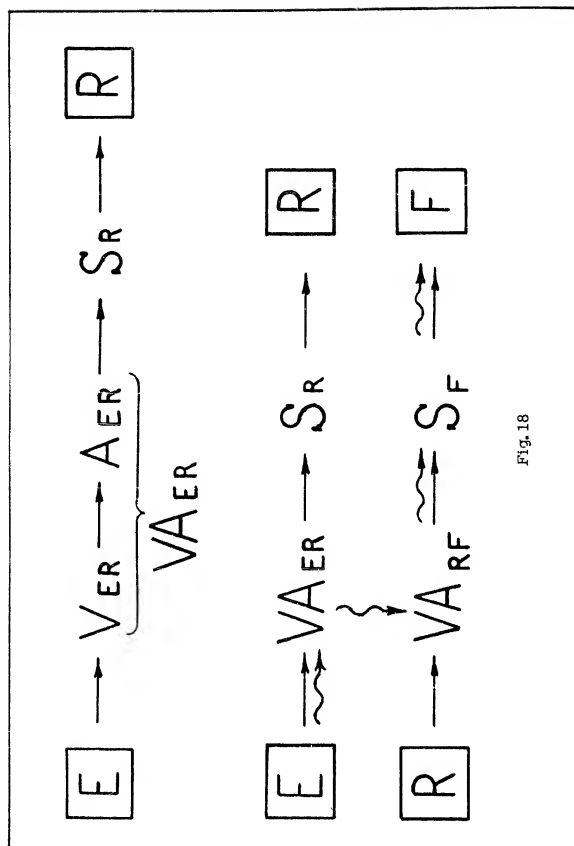


Fig. 18

# ЛИТЕРАТУРА

1. Shannon C. and Weaver W. Mathematical theory of Communication.
2. Machine Translation of Languages. Edited by W. N. Locke & A. D. Booth. 1955.
3. Fries C. C. The Structure of English. N. Y. 1952.
4. Jespersen O. Analytic Syntax, Copenhagen, 1937.
5. Д. Ю. Панов. Автоматический перевод. Москва, 1956.
6. Г. П. Зеленкевич, Л. Н. Королев, С. Н. Газуновский. Опыт автоматического перевода на электронной вычислительной машине БЭСМ, "Природа" № 8, 1956.
7. I. S. Mukhin. An Experiment of the Machine Translation of Languages Carried out on the BESM. Academy of Sciences, U. S. S. R.
8. И. К. Бельская, И. С. Мухин. Автоматический перевод с английского на русский с помощью БЭСМ - труды конференции "Пути развития советского математического машиностроения" /в печати/.